

Mg イオン注入 p 型 GaN における超高压アニール温度の低減化に向けた検討

Reduction of ultra-high-pressure annealing temperature for Mg-ion-implanted GaN

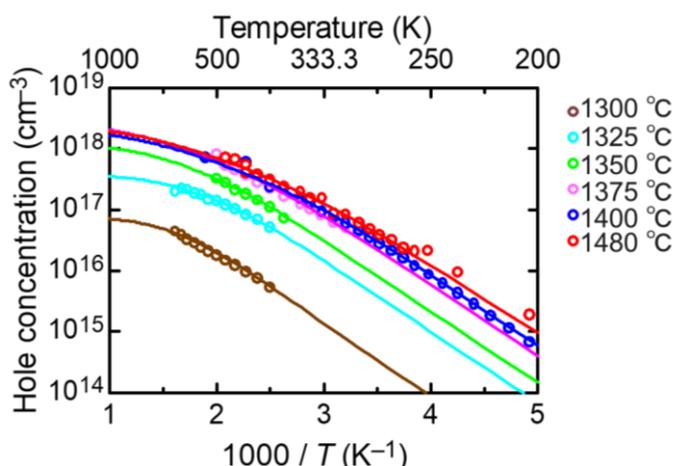
名大工¹、名大 IMASS²、(株)アルバック先進研³、(株)サイオクス⁴、UNIPRESS⁵O(MI)晝川 十史¹、櫻井 秀樹^{1,2,3}、藤倉 序章⁴、堀田 昌宏^{1,2}、M. Bockowski^{2,5}、乙木 洋平⁴、加地 徹²、須田 淳^{1,2}Nagoya Univ.¹, Nagoya Univ. IMASS², ULVAC ATI³, SCIOCS⁴, UNIPRESS⁵K. Hirukawa¹, H. Sakurai^{1,2,3}, H. Fujikura⁴, M. Horita^{1,2}, M. Bockowski^{2,5}, Y. Otoki⁴,T. Kachi² and J. Suda^{1,2}E-mail: hirukawa.kazufumi@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

高性能な GaN 縦型パワーデバイスを実現する上で、電界緩和構造など任意領域への p 型伝導制御を可能とするイオン注入技術が不可欠である。我々はこれまで Mg イオン注入後に 1400°C 以上の超高压アニール(ultra-high-pressure annealing: UHPA)を行うことで良好な活性化率で p 型 GaN が実現できることを報告してきた^{[1][2]}。アニール温度の低減を狙って、今回、より低い温度で UHPA アニール温度依存性を詳細に調べたところ、従来よりも 100°C 低い 1300°C アニールでも p 型化が生じていることを確認したので報告する。アニール温度を低減すると、熱分解を防ぐための圧力が低く済むため、アニール装置の大口径化の道が拓ける。

n 型 GaN 基板上に、Si、C、O いずれも濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以下の高純度 GaN を Quartz-free-HVPE により成長^[3]した試料を用意し、濃度 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、深さ約 0.3 μm の Box-profile を形成する Mg の室温多段イオン注入を行った。ウエハを分割した後、UHPA を保護膜なし、高压窒素(1 GPa)下、5 分間の条件で行った。アニール温度を 1300、1325、1350、1375、1400、1480°C と変化させたものを用意した。UHPA 後に窒素雰囲気 850°C 60 分の脱水素処理を行い、Ni/Au の電極を蒸着、熱処理を行うことでホール素子を作製し 298 K ~ 620 K の温度範囲で AC 磁場ホール効果測定を行った。

SIMS から、UHPA により表面から深い方向へ Mg の拡散が見られ、また UHPA 温度の上昇に伴いより深く拡散することが分かった。ホール効果測定を行ったところ 1375°C 以上の試料は室温で p 型伝導を示した。1300~1350°C の試料は室温では高抵抗のため測定ができなかったが、測定温度を上げると測定が可能となり p 型伝導を示した。ホール効果測定の温度依存性の結果を図に示す。キャリア密度の温度依存性の解析から、UHPA 1400°C 以上の試料では Mg アクセプタ活性化率($N_A/[Mg]$)はほぼ 100%、補償率(N_D/N_A)は 20%以下と見積もられた。

一方、UHPA 1300°C では活性化率が約 23%、補償率が 90%以上となった。まだまだ改善の余地はあるものの、明確な p 型化が確認されたことは大きな進展である。今回はアニール時間を 5 分間としたが、今後アニール時間を長くすることで活性化率の向上、補償率の低減を狙う。なお、1300°C では平衡蒸気圧は 2800 気圧であり、アニール装置の耐圧設計がかなり容易になる。



Temperature dependent of the hole concentrations for the sample processed by the Mg I/I and UHPA 1300 – 1480°C

【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 の助成を受けたものです。また研究の一部は the Polish National Science Centre (NCN) のプロジェクト No 2018/29/B/ST5/00338 の助成を受けて行われたものです。[1] H. Sakurai et al., Appl. Phys. Lett. **115**, 142104 (2019) [2] 晝川 他, 第 67 回応用物理学会春季講演, 13a-B401-8 (2020) [3] H. Fujikura et al., Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 085503 (2017)