

超高圧アニールによる Mg-N シーケンシャルイオン注入 GaN のアクセプタ形成の実証

Demonstration of acceptor formation in Mg- and N-ions implanted GaN by ultra-high-pressure annealing

名大 未来材料・システム研究所¹、名大工²、(株)アルバック 半電研³、豊田中研⁴、UNIPRESS⁵

○櫻井秀樹^{1,2,3}、成田哲生⁴、晝川十史²、山田真嗣^{1,2,3}、高良昭彦³、片岡 恵太⁴、堀田昌宏^{1,2}、

M. Boćkowski^{1,4}、須田淳^{1,2}、加地徹¹ Nagoya Univ. IMaSS¹, Nagoya Univ.², ULVAC ISET³,

Toyota Central R&D Labs.⁴, UNIPRESS⁵ H. Sakurai^{1,2,3}, T. Narita⁴, K. Hirukawa², S. Yamada^{1,2,3},

A. Koura³, K. Kataoka⁴, M. Horita^{1,2}, M. Boćkowski^{1,4}, J. Suda^{1,2} and T. Kachi¹

E-mail: sakurai@imass.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】より高性能な GaN パワーデバイスを実現するために、任意領域への p 型伝導制御を可能とする Mg イオン注入(Mg-I/I)技術は重要である。我々はこれまで Mg-I/I 後の活性化処理に超高圧アニール(ultra-high-pressure annealing: UHPA)を適用した試料についてホール効果測定を行い、Mg アクセプタ形成の実証を報告してきた。^{[1][2]} 今回、窒素空孔欠陥への補償効果を目的とした Mg&N シーケンシャルイオン注入(Mg&N-I/I)試料について UHPA 処理を行い、ホール効果測定の温度特性評価を行ったので報告する。

【実験】試料は自立 n⁺-GaN 基板上に MOVPE 法にて成長した GaN 層中に Mg と N イオンを注入したものを用いた。注入順は Mg→N とした。As-implanted の Mg プロファイルは濃度 10^{19} cm^{-3} 、深さ約 $0.3 \mu\text{m}$ の Box-profile である。N プロファイルも Mg 同様のプロファイルとしている。^[3] (これまでの実験における注入最適条件) 活性化処理は保護膜なしで高圧窒素(1GPa)下、 1400°C 、5 分間アニールした。熱処理後、熱拡散によって Mg プロファイルは変化し、Mg 濃度 $2.1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、深さ約 $1 \mu\text{m}$ に再分布していることを確認している。ホール効果素子はサンプルの四隅に電極を形成したものを用意し、ホール効果測定は AC 磁場下で温度を $160 \sim 620 \text{ K}$ に変化させ測定を行った。

【結果と考察】Mg&N-I/I 試料はこれまでの Mg-I/I 試料と同様、ホール効果測定によって p 型が確認された。ホールキャリア濃度とホール移動度の温度特性を下図に示す。Mg&N-I/I におけるホールキャリア濃度の温度依存性は Mg-I/I と同様の傾向を示し、かつ、より広い測定温度領域で測定可能となった。これは N 注入によって Mg プロファイルが変化し、コンタクト特性が良くなったことに起因する。キャリア統計と電荷中性条件の式から解析を行った結果、活性化エネルギー ΔE_a は 204 meV 、アクセプタ活性化率($N_A/[\text{Mg}]$)は少なくとも 88%以上である事が見積もられた。また Mg&N-I/I の室温における移動度 $\mu_{p,300\text{K}}$ は $19.3 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ が得られた。以上から UHPA によって Mg-I/I と同様、Mg&N-I/I においてもアクセプタ形成が確認され、UHPA の有用性を再確認した。

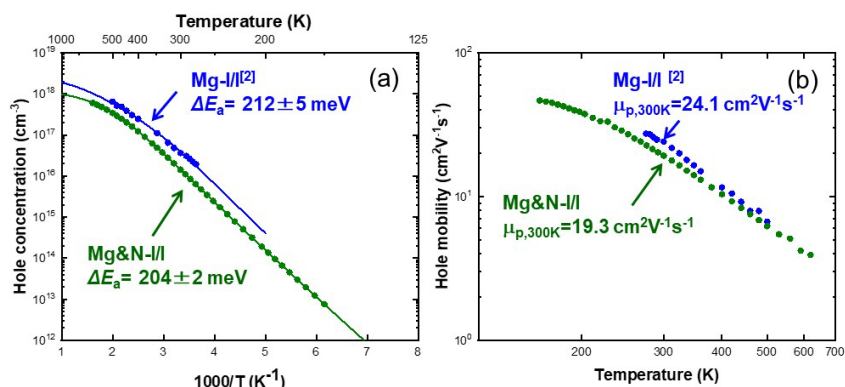


図 Mg&N-I/I と超高圧アニール ($1400^\circ\text{C}/5 \text{ min}/1 \text{ GPa}$)によって得られたホール効果測定結果 (a)ホールキャリア濃度と (b)ホール移動度の温度依存性

Mg-I/I: Mg イオン注入のみ^[2]
Mg&N-I/I: Mg&N シーケンシャルイオン注入

[1] 櫻井他, 18p-N302-9, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会(2019) [2] H. Sakurai et al., Appl. Phys. Lett. 115, 142104 (2019),

[3] 櫻井他, 19p-CE-12, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会(2018)

【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」の委託を受けたものです。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。