

常圧 1400°Cアニール処理した Mg/N イオン注入 GaN 結晶の
アクセプタ活性化率の評価

Evaluation of acceptor activation rate of Mg/N-ion-implanted GaN
annealed at 1400°C under normal pressure

大分大¹, ミライズテクノロジーズ² °大森 雅登¹, 渡邊 健太², 宮崎 泰成¹,
白石 舞翔¹, 和田 竜垂¹, 大川 峰司²

Oita Univ.¹, MIRISE Technologies², °Masato Omori¹, Kenta Watanabe², Taisei Miyazaki¹,
Maito Shiraishi¹, Ryusei Wada¹, Takashi Okawa²

E-mail: omori@oita-u.ac.jp

脱炭素社会に向けた省エネ化技術として窒化ガリウム (GaN) パワーデバイスの早期実現が期待されている。GaN へのイオン注入ドーピング技術は高性能・低コストなパワーデバイス実現のために必須の要素技術であるが、活性化アニールによって窒素が脱離してしまうため、結晶回復とドーパント活性化が容易ではなく実用化には至っていない。これを解決するために平衡蒸気圧以上の超高压高温でアニールする方法^[1]や、保護膜を製膜して常圧でアニールする方法などが試みられている。本研究では、AlN 保護膜を製膜した Mg イオン注入 GaN を常圧下 1400°C でアニールした試料に対し、アクセプタ活性化率を評価したので報告する。

イオン注入試料は GaN-on-GaN エピウエハ上に約 400nm の Box プロファイルにて Mg と N を $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の濃度で共注入し作製した。その後 AlN をスパッタリング法により約 200nm 製膜し、大気圧にて 1400°C で 15 分間アニールを行った。また、1GPa の圧力下にて 1456°C で 15 分間アニールを行った試料も作製した。試料はフォトルミネッセンス (PL) 法により作成した Mg 濃度検量線^[2]を用いて Mg_{Ga} アクセプタ濃度を見積もった。また走査型マイクロ波顕微鏡法 (SMM) とホール効果測定を用いて正孔濃度の評価も行った。

各評価結果を TABLE I に示す。PL 測定から、常圧アニールおよび 1GPa アニール試料の Mg_{Ga} アクセプタ活性化率はそれぞれ 42% と 11% であった。正孔濃度はホール効果と SMM で大きな違いはなく、SMM で比較的正確に測定できていることが分かる。より高温の 1GPa アニールの試料の方が高い正孔濃度であるにもかかわらず Mg_{Ga} アクセプタの活性化率が低い結果となった。これは、1400°C 以上の高温でアニールしたことで Mg_{Ga} アクセプタとは異なる欠陥関連のアクセプタが形成され、それが正孔を多数供給していると推察される。また、ホール効果測定による正孔濃度の温度依存性や PL 測定結果の解析を行ったところ、p 型 GaN エピ膜とは異なる深いエネルギー準位を示すアクセプタが存在することが明らかとなった。

[1] H. Sakurai et al., *Appl. Phys. Lett.* **115**, 142104 (2019).

[2] M. Omori et al., *Appl. Phys. Express* **14**, 051002 (2021).

TABLE I. Experimental results of Mg/N ion-implanted GaN samples.

Sample	Annealing conditions		Mg	Mg _{Ga} acceptor	Hole concentrations at 300 K	
	Temp.	Pressure	by SIMS	by PL	SMM	Hall effect
			(cm ⁻³)	(cm ⁻³)	(cm ⁻³)	(cm ⁻³)
A	1400°C	100 kPa	1.27×10^{18}	5.27×10^{17}	2.10×10^{16}	-
B	1456°C	1 GPa	1.74×10^{18}	1.82×10^{17}	5.86×10^{16}	4.18×10^{16}