

分子線エピタキシー法により成長した Ge 添加 GaPN 混晶の電気的特性

Electrical properties of Ge-doped GaPN grown by molecular-beam epitaxy

○田中 俊介、山根 啓輔、関口 寛人、岡田 浩、若原 昭浩

(豊橋技科大)

○Shunsuke Tanaka, Keisuke Yamane, Hiroto Sekiguchi,

Hiroshi Okada, Akihiro Wakahara (Toyohashi Tech.)

E-mail: tanaka-sn@int.ee.tut.ac.jp, wakahara@ee.tut.ac.jp

GaPN 混晶は N 組成 2% で Si と格子整合することから、Si 基板上受発光素子の材料として有望である。GaP 系 III-V-N 混晶では、硫黄(S)およびマグネシウム(Mg)を用いてそれぞれ n 型および p 型の導電性制御が実証されている[1,2]。しかしながら GaPN:S では、N 添加による電子濃度の低下[1]や成長時の S のメモリー効果が問題となっていた。これまでに、我々は、S に比べて格段にメモリー効果の少ない Ge ドープメントを提案し、n-GaP の導電性制御の可能性を見出した[3]。本研究では N 組成 0–2% の GaPN:Ge を成長し、Ge ドープメントの優位性を示す。

RF プラズマ分子線エピタキシー(rf-MBE)法を用いて GaP 基板上に GaP 緩衝層(30 nm)を成長した後、GaPN:Ge 層(300 nm)を成長した。このとき、Ge のセル温度を 950°C、V/III 比を 15 とし、窒素源には RF プラズマセルを用い、RF power を 400 W、窒素流量を 0–0.2 sccm と変化させることで N 組成を制御した。

図 1 に X 線回折 2θ - ω (004) プロファイルを示す。窒素流量の増加に伴って N 組成が増加した。N 組成 2.1% の試料では、GaPN の格子緩和により N 組成の不均在生じ、ブロードなピークが現れたものと考えられる。なお、N 組成 2.1% の試料のみ、AFM により格子緩和によるクロスハッチパターンが観察された。図 2 にホール効果測定から見積もった電子濃度の N 組成依存性を示す。GaPN:Ge では N 組成 1.6% までは電子濃度が増加し、その後減少する傾向を示した。一方、GaPN:S では同図にプロットした通り N 組成の増加に伴い電子濃度が大きく減少することが報告されている。これは、成長中の N 原子の衝突による S の脱離[1]や S-N 結合による S の不活性化が原因と考えられている。そこで、Ge 添加した GaP および GaPN の SIMS 分析を行い、Ge 濃度を測定した。結果として、Ge の濃度は N 添加の有無にかかわらず $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で一定であることが確認された。以上の結果から N 添加により Ge の活性化率が増加し、電子濃度が上昇したものと考えられる。その要因としては、N を添加することで GaPN の伝導帯下端が減少し、Ge ドナーの活性化エネルギーが低下したことなどが推察される。N 組成 2.1% では格子緩和が生じたため、本質的な現象をとらえていない可能性があるため、今後、膜厚を小さくするか、As を添加し格子整合条件で試料作製し、クラック、転位の影響のない状態での電気的特性の調査が必要である。

結論として、GaPN:Ge では GaPN:S とは対照的に N 添加により活性化率が増加することおよび现阶段で 10^{18} cm^{-3} 台後半までの電子濃度制御ができる可能性を見出すことができた。

参考文献

- [1] Y. Furukawa, et al., Appl. Phys. Lett., 88, 2004 (2006).
- [2] K. Yamane, et al., J. Cryst. Growth 473, 55 (2017).
- [3] 田中俊介他, 第 65 回春応物, 17p-F214-3, (2018).

謝辞：本研究の一部は、(公財)中部電気利用基礎研究振興財団、立松財団および JAXA 共同研究の援助を得て行われた。

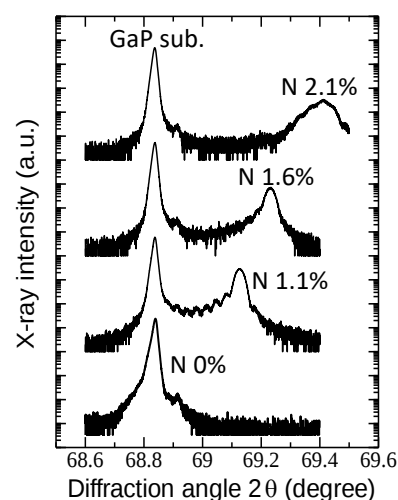


図 1. GaPN:Ge の X 線回折 2θ - ω (004) プロファイル

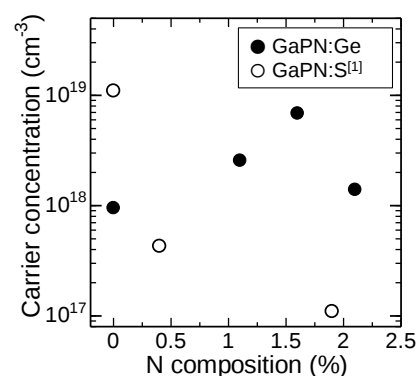


図 2. ドープメントフラックス一定条件で作製した GaPN:Ge および GaPN:S[1] の N 組成に対する電子濃度