

表面窒化法による GaPN 混晶の成長における窒素取り込み機構の検討

N incorporation mechanism on GaPN alloy grown by surface nitridation methods

橋高 昂志¹, 山根 啓輔¹, Boualiong Kerlee¹, 関口 寛人¹, 岡田 浩^{2,1}, 若原 昭浩¹

(1.豊橋技科大院・工, 2.豊橋技科大 EIIRIS)

°T. Kittaka¹, K. Yamane¹, K. Boualiong¹, H. Sekiguchi¹, H. Okada^{2,1}, A. Wakahara¹

(1.Toyohashi Tech., 2.Toyohashi Tech. EIIRIS.)

E-mail: kittaka-t@int.ee.tut.ac.jp, wakahara@ee.tut.ac.jp

GaPN, GaAsPN などの III-V-N 化合物半導体は、N 組成制御による Si 基板との格子整合およびバンドエンジニアリングの観点から、多接合太陽電池等への応用が期待される¹⁾。しかしながら、III-V-N 化合物半導体は N 組成の増加に伴い著しくキャリア濃度が低下することが一般的に知られている²⁾。原因の一つとして N 原料に含まれる C が結晶中に大量に取り込まれることで、n 型ドーパントを補償することが挙げられる。そこで我々は、C の混入を抑制するために NH₃ を N 原料とし、表面窒化法を用いて GaPN 混晶を成長させることで、N 組成を約 1.6% まで制御できることを示した³⁾。しかし、表面窒化法による成長において N が結晶中に取り込まれるメカニズムは解明できていない。本稿では、GaP(001)just 基板と 4°off 基板を用い、同時に GaPN 混晶を成長させた時の各々の N 組成から、ステップ端とテラスにおける N の取り込みメカニズムを調べた。

結晶成長には有機金属気相成長法を用い、Ga, P, N 原料として、それぞれ TEGa, TBP, NH₃ を用いた。基板には、半絶縁性 GaP(001) just 基板と 4°off 基板および、GaP/Si-4°off テンプレートを用いた。Fig.1 に示す様な成長シーケンスを 1 周期として、NH₃ の供給時間を系統的に変化させて、170 周期行うことで GaPN 混晶を成長させた。ここで、NH₃ の流量は 3 slm、成長温度は 580 °C、成長圧力は 50 Torr とした。

GaPN の N 組成の窒化時間依存性を Fig.1 に示す。一般に連続成長では表面ステップ密度の高い off 基板の方が高窒素組成になるが、表面窒化法では just 基板の方が系統的に高窒素組成となった。同様の傾向は DMHy 原料を用いた GaPN の成長においても確認された。Fig.2 に窒化時間 15 秒で成長した GaPN 層表面の AFM 像を示す。4°off 基板では、[110]方向にステップフロー成長が進行したことを意味するバンチングが観察された。また、これらの断面プロファイルから平均テラス幅を求め、Cornet らにより提案された解析により⁴⁾、ステップ端とテラスにおける N の取り込み効率を求めた。その結果、テラスへの N 原子の取り込み効率がステップ端の約 2 倍であることが明らかになった。また、GaP/Si-4°off テンプレート上では、4°off 基板上に比べてわずかに N 組成が増加した。これは、成長中に加わる格子不整合歪みの違いに起因すると考えられる⁵⁾。以上より、表面窒化法による GaPN の成長において、基板の微傾斜および基板の種類が N の取り込み様式に与える影響が明らかとなった。

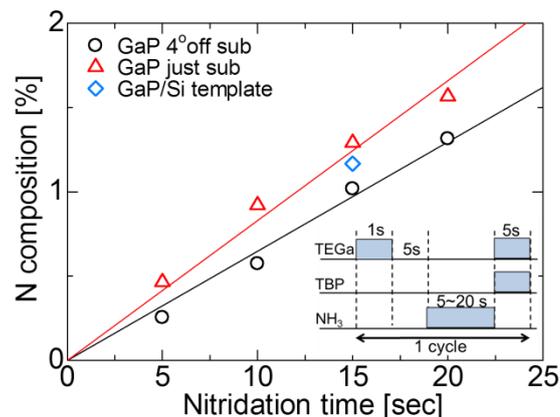


Fig.1 N 組成の窒化時間依存性

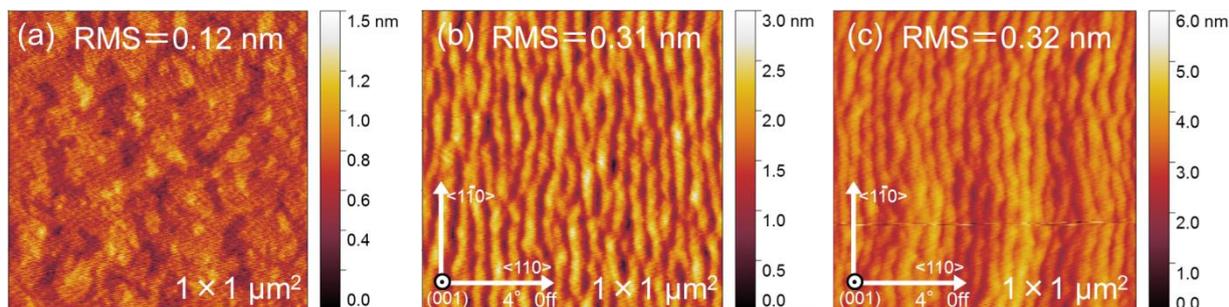


Fig.2 各基板上に成長した GaPN の表面 AFM 像。(a) GaP just 基板, (b) GaP 4°off 基板, (c) GaP/Si-4°off

- 1) J. F. Geisz *et al.*, Sci. Technol. 17, 769 (2002) 2) J.F. Geisz *et al.*, J. Cryst. Growth 259, 223 (2003)
 3) K. Yamane *et al.*, Phys. Status Solidi B, 1-5 (2016) 4) C. Cornet *et al.*, Appl. Phys. Lett. 101, 251906 (2012)
 5) Utsumi *et al.*, J. Cryst. Growth 295 (2006) 12.

謝辞：本研究の一部は内藤科学技術振興財団の助成のもとに行われた。