

微傾斜表面を有する GaN 系半導体における不純物添加と表面構造変化

Growth surface variation due to impurity-doping for vicinal (0001) GaN

阪大院工 °市川 修平, 館林 潤, 藤原 康文

Osaka Univ., °Shuheichikawa, Jun Tatebayashi, Yasufumi Fujiwara

E-mail: ichikawa@mat.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】窒化物半導体の結晶成長時において、従来成長面の(0001)から僅かに傾斜した微傾斜基板上に成長を行うことで、転位低減効果が得られる事が報告されている[1]。一方で、微傾斜成長表面にステップバンチング機構により形成されるマクロステップ構造は、混晶作製時や不純物ドーピング時に組成変調を引き起こすことから、デバイス利用にむけて障害となる側面がある。我々はこれまでに、微傾斜サファイア基板上の GaN 成長において、希土類元素の Eu を結晶中に in-situ 添加することにより表面マクロステップを解消し、高密度原子ステップ構造を有する原子レベルで平坦な GaN 成長が可能であることを見出してきた[2]。一方で AlN のマクロステップ解消には、Mg 添加が一定の効力を示すことが報告されている[3]。そこで、本報告では Mg 添加と Eu 添加が GaN 表面マクロステップ解消に与える影響の差異を明らかにするとともに、マクロステップ解消後の pn 制御時の表面制御について報告する。

【実験・結果】(0001)から m 軸方向に 1°オフを有する微傾斜サファイア基板上に、有機金属気相成長法によりアンドープ GaN (ud-GaN)を約 2 μm 成長後、マクロステップ低減層として Mg 添加 GaN (GaN:Mg)層あるいは Eu 添加 GaN(GaN:Eu)層を成長した。この際、マクロステップの解消を促進させるために、GaN:Mg/ud-GaN (1.5 nm/ 15 nm)構造を 150 周期、GaN:Eu/ud-GaN (1.0 nm/ 10 nm)構造を 40 周期として、多層的に不純物添加を行った。その後 3~5 μm の ud-GaN 層を成長し、総膜厚約 7.5 μm の試料最表面について観察を行った。

Fig. 1 に、ud-GaN のみを 7.5 μm 成長した際と、GaN:Mg 中間層・GaN:Eu 中間層を挿入した際の表面光学顕微鏡像を示す。図より、GaN:Mg 中間層・GaN:Eu 中間層を導入した試料では共にマクロステップ解消効果が観察される一方で、GaN:Mg 中間層上の ud-GaN では十分なマクロステップ解消が生じていないことが分かる。この原因を明らかにするために、作製した試料に対して(0002) X 線回折測定を行い、GaN 結晶中の内包歪の評価を行った。2θ-ω scan 測定結果を Fig. 2 に示す。サファイア基板上的 ud-GaN 膜は面内圧縮歪を受けるため、無歪 GaN の理論値よりも低角側にピークが観察される。一方で、GaN:Eu 中間層を有する試料では、GaN:Eu 周期構造上部の ud-GaN 層の圧縮歪が解放され、ピークが高角側にシフトしていることが分かる。しかしながら、GaN:Mg 中間層上の ud-GaN では歪がほとんど解消されておらず、通常の ud-GaN と近接した位置にピークが観察された。ステップバンチングの駆動力の一因となるステップ間引力は、理論上歪の自乗に比例することから、GaN:Mg 中間層では歪の解放が十分でないために、Eu 添加時ほどのマクロステップ解消効果が得られなかったものと考えられる。この結果は、共に Ga サイトを置換する Eu と Mg の原子半径が Ga < Mg < Eu の順であることから、圧縮歪の解放という点で Eu 添加がより効果的に働くことを示している。

また、マクロステップ除去後における Si 添加では、ステップピン止め効果に伴う V-shape 型のステップバンチングを誘発することが確認されたが、微量な Al 共添加によってピン止め効果が抑制され、原子ステップを維持した n 型層の成長が可能であることを見出した。これらの結果は、微傾斜基板上のマクロステップフリー GaN バイポーラデバイスの作製が、不純物の的確な添加により実現可能であることを示している。

【謝辞】本研究の一部は、JSPS 科研費 No.19H04544、No.18H05212 および、日本板硝子材料工学助成会、小澤・吉川記念エレクトロニクス研究助成基金の助成を受けたものです。

[1] X. Q. Shen *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 021912 (2005).

[2] S. Ichikawa *et al.*, *IWN 2018*, **GR8-3**, Kanazawa, Japan, (Nov. 2018).

[3] K. Nagamatsu *et al.*, *Phys. Stat. Sol. (c)* **5**, 3048 (2008).

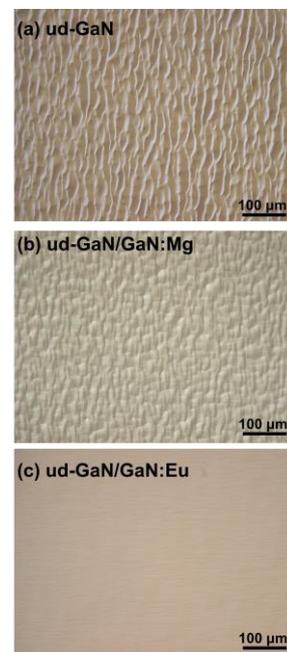


Fig. 1: Optical microscope images of (a) ud-GaN, (b) ud-GaN on GaN:Mg, and (c) ud-GaN on GaN:Eu.

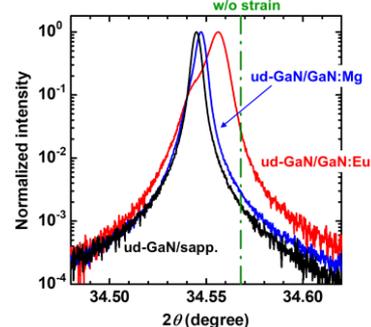


Fig. 2: Symmetric (0002) 2θ-ω scans for samples.