

スパッタ堆積アニール N 極性 AlN 薄膜へのサファイア基板オフ角の影響 Effect of Sapphire-Substrate Off-Cut Angles on N-polar Annealed Sputter-Deposited AlN Films

三重大 院工¹, 地創戦略企², 院地域イノベ³

○(M1) 並河 楽空¹, 窪谷 茂幸², 正直 花奈子¹, 森隆一¹, 上杉 謙次郎^{2,3}, 三宅 秀人^{1,3}

Grad. Sch. of Eng.¹, SPORR², Grad. Sch. of RIS.³, Mie Univ.

○Gaku Namikawa¹, Shigeyuki Kuboya², Kanako Shojiki¹, Ryuichi Mori¹,
Kenjiro Uesugi^{2,3}, Hideto Miyake^{1,3}

E-mail: kuboya.shigeyuki@mie-u.ac.jp

【はじめに】近年 N 極性 AlN を用いた電子デバイス作製が注目されている。しかし、有機金属気相成長(MOVPE)法で成長させた N 極性窒化物半導体の表面形状は、六角形状のヒロックが高密度に形成されやすい。このヒロックの形成を抑制する方法として、大きいオフ角を有するサファイア基板を用いることが有効である^[1, 2]。一方、我々は高周波(RF)スパッタ法を用いた AlN 成膜と、face-to-face 配置での高温アニール処理(FFA)を組み合わせた方法^[3]を用いて、c 面サファイア基板上に低転位密度の N 極性 AlN(N 極性 FFA Sp-AlN)を作製できることを報告してきた^[4]。本研究では、オフ角の異なるサファイア基板を用いた N 極性 FFA Sp-AlN テンプレートの作製と、そのテンプレート上へ MOVPE 法を用いて AlN を成長させ、基板オフ角が FFA Sp-AlN テンプレートおよび MOVPE 成長 N 極性 AlN 薄膜の表面形態と結晶性に与える影響を調べた。

【方法と結果】*m* 軸方向に 0.2°、0.5°および 1.0°のオフ角を有する c 面サファイア基板上に、Al ターゲットを用いた RF スパッタ法で AlN を 300 nm 堆積させた。その後、FFA を 1700°C、3 時間、N₂ 雰囲気で行い、N 極性 FFA Sp-AlN テンプレートを作製した。このテンプレート上に MOVPE 法を用いて成長温度 1400°C で AlN を 200 nm 成長させた。KOH エッチングによる極性判定の結果、全ての試料でエッチングが確認されたため、極性は N 極性であると推測できる。Fig.1 に原子間力顕微鏡(AFM)像と、AFM 像から求めた表面粗さ RMS 値を示す。FFA Sp-AlN の表面はオフ角によらず RMS が 0.5 nm 以下の良好な表面平坦性を有することがわかった。MOVPE 成長後の表面では、ヒロックの形成が観察されたが、オフ角が 0.2°と 0.5°では RMS が 10 nm 以上であるのに対して、1.0°では RMS が 1.68 nm と大幅に低減できることが明らかとなった。これは、先行研究^[1, 2]と同様の傾向であり、N 極性 FFA Sp-AlN 上においてもオフ角増加に伴いヒロックの形成が抑制されたためだと考えられる。Fig.2 に(0002)および(10-12)面の X 線ロックアップカーブの半値全幅(FWHM)を示す。FFA Sp-AlN と MOVPE 成長後の(0002)および(10-12)回折の FWHM はオフ角によらず同程度であり、それぞれ約 10 arcsec、約 200 arcsec であった。MOVPE 成長後の AlN は下地層の良好な結晶性を引き継いでいることがわかった。なお、FWHM から見積もった MOVPE 成長後の AlN のらせん転位密度および刃状転位密度は $2.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 、 $4.6 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ である。

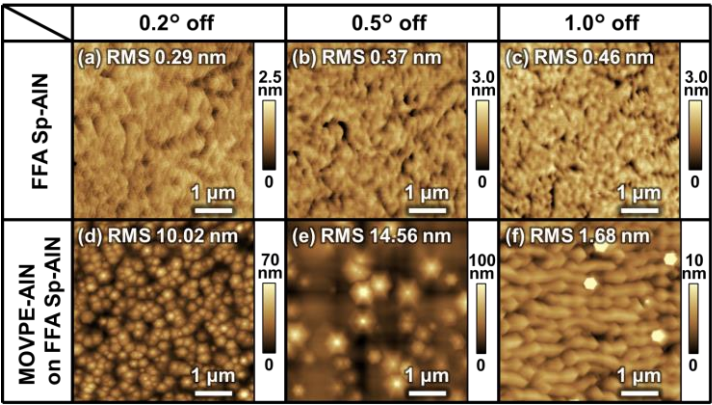


Fig.1 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ AFM images of FFA Sp-AlN (a, b, c) and MOVPE-grown AlN (d, e, f) with substrate off-cut angles of (a, d) 0.2°, (b, e) 0.5°, and (c, f) 1.0°.

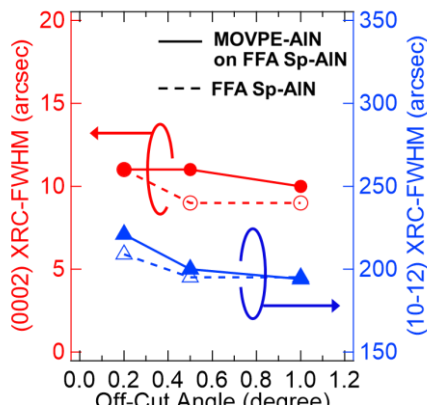


Fig.2 Off-cut angle dependence of XRC-FWHM of FFA Sp-AlN and MOVPE-grown AlN on them.

[1] S. Keller *et al.*, J. Appl. Phys. **102**, 083546 (2007). [2] T. Isono *et al.*, Phys. Status Solid B **257**, 1900588 (2020). [3] H. Miyake *et al.*, J. Cryst. Growth **456**, 155 (2016). [4] K. Shojiki *et al.*, J. Cryst. Growth **574**, 126309 (2021).

【謝辞】本研究の一部は、文部科学省「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」JSPS 科研費(19K15025、21K04903、21K14545)、JST CREST(16815710)、JST aXis(JPMJAS2011)、JST FOREST(JPMJFR2031)、GaN Consortium および NEDO 先端研究の支援により行われた。