

省エネルギーに資する窒化ガリウム単結晶基板の量産法を開発 -次世代パワーエレクトロニクスの実現に道-

東北大学多元物質科学研究所 秩父重英 教授らは、株式会社日本製鋼所、三菱ケミカル株式会社と協力し、反りがほとんど無い、大口径且つ高純度な GaN 単結晶基板の量産を行える低圧酸性アモノサーマル法の開発に成功しました。

1. 研究背景

豊かで安心安全な社会を持続させるためには、限りあるエネルギー資源を高効率に利用する技術が不可欠です。たとえば、電力を強い動力に変換する鉄道・電気自動車・産業機械や、高周波の電波を増幅させる通信基地局等において、電力の変換効率を向上させることは喫緊の課題です。その解決方法として、電力制御を担うパワートランジスタの半導体材料を、従来の珪素から炭化珪素、GaN、ダイヤモンド等に置き換えることが注目されています。なかでも、GaN は広い禁制帯幅 (3.4 eV)、高い絶縁破壊電界 (3.3 MV cm⁻¹)、速い飽和電子速度 (2.5 × 10⁷ cm s⁻¹) などの優れた物性を有するため、高出力かつ高周波で動作する縦型パワートランジスタ (図 1) への応用が期待されています。しかし、現状では GaN トランジスタの土台となる GaN 単結晶基板が入手困難であるため、リーク電流が少なく信頼性が高い GaN 縦型パワートランジスタを作製することが困難です。

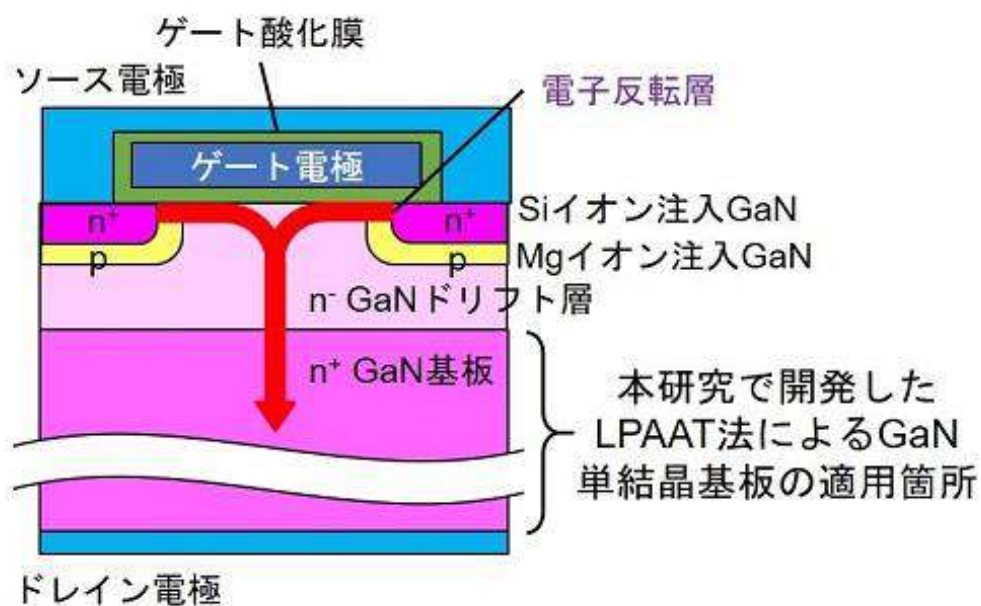


図 1. GaN を用いた縦型パワートランジスタの模式図。

2. 研究手法と成果

本研究では、直径 2 インチ以上の GaN 単結晶基板を量産可能な、低圧酸性アモノサーマル (Low-pressure acidic ammonothermal; LPAAT) 法を独自に開発しました。既に実用化されている、高圧の超臨界流体アンモニアを用いる従来の酸性アモノサーマル (SCAAT™) 法とは異なり、低圧での結晶成長を実現したことにより、比較的小さな結晶成長炉で大型結晶の量産が可能となります。図 2 に示すように、SCAAT™ による GaN 種結晶上に LPAAT 法により作製された 2 インチ長の GaN 単結晶基板は、結晶モザイク性が低く (対称面・非対称面の X 線ロックアップカーブ半値全幅が 28 秒以内)、基板の反りがほとんどない (曲率半径が約 1.5 km) 良好な結晶構造特性を有しました。さらに、結晶成長炉の材質である鉄やニッケルなどのコンタミネーションを抑えるため、結晶成長炉の内壁を銀でコーティングした結果、GaN 結晶中に意図せず混入する不純物を減らすことができ、低温フォトルミネッセンスからは GaN の励起子遷移の発光が確認される程度に優れた結晶性および高い純度を達成しました。LPAAT 法による大口径・低反り・高純度な GaN 単結晶基板が普及していけば、信頼性に優れる GaN 縦型パワーランジスタが実用化されていくと期待されます。

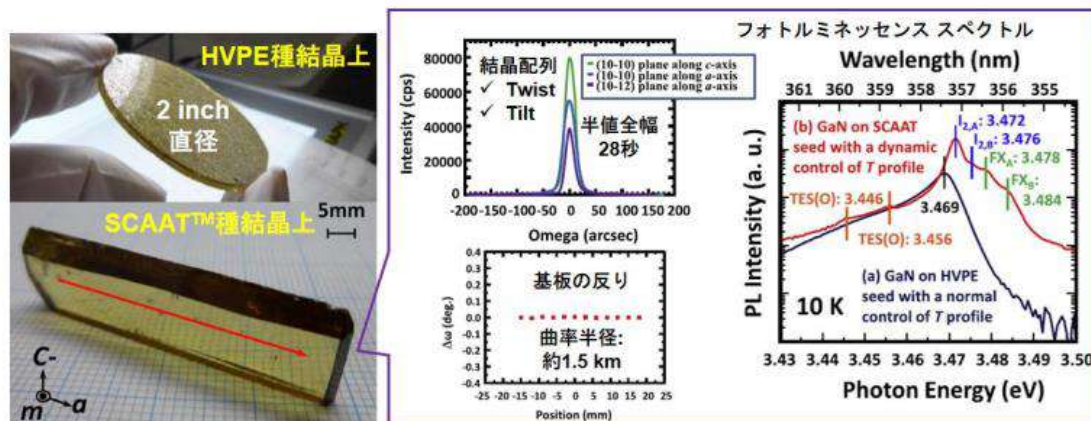


図 2. LPAAT 法により、2 種類の GaN 種結晶 (Halide vapor phase epitaxy; HVPE および Supercritical acidic ammonia technology; SCAAT™) 上に作製された 2 インチサイズの GaN 単結晶基板の外観、結晶構造特性、およびフォトルミネッセンススペクトル。

3. 今後の展望

本研究で開発した LPAAT 技術を大型炉 (内径 120 mm 以上) に適用し、反りが少なく結晶モザイク性も殆ど無いような優れた結晶構造的特性をもつ 4 イ

ンチ以上の大口径 GaN 基板の実現を目指します。さらに、作製された GaN の輻射・非輻射再結合レートや空孔型欠陥濃度等を、東北大や筑波大の持つ特殊計測技術を用いて定量することにより、LPAAT 法による GaN 単結晶の光学的・電気的な特性をさらに向上させます。

論文情報

タイトル : Ammonothermal growth of 2 inch long GaN single crystals using an acidic NH₄F mineralizer in a Ag-lined autoclave

雑誌 : Applied Physics Express

DOI : 10.35848/1882-0786/ab8722

日本語原文

<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/06/press20200601-01-GaN.html>

文 JST 客観日本編集部