

## バルク GaN 基板の評価 Characterization of Bulk GaN Substrates

横川 俊哉<sup>a</sup>, 吉田 俊治<sup>a</sup>, 今井 康彦<sup>b</sup>, 木村 滋<sup>b</sup>  
Toshiya Yokogawa<sup>a</sup>, Shunji Yoshida<sup>a</sup>, Yasuhiko Imai<sup>b</sup>, Sigeru Kimura<sup>b</sup>

<sup>a</sup>パナソニック(株), <sup>b</sup>(公財)高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>Panasonic Co. Ltd., <sup>b</sup>JASRI

Ⅲ - V 族窒化ガリウムのバルク基板は、高輝度、高信頼性 LED 用基板として注目を集めている。そしてバルク基板の更なる低欠陥密度化のため GaN 選択横方向成長法がしばしば用いられる。この選択横方向成長においては欠陥密度の分布による局所的な歪みの分布や横方向成長時の接合部における微小な結晶面の変化などが予測され、この説明はデバイス特性の向上に重要と考えられる。本申請課題では、更なる LED の効率向上が期待されることで知られ特に近年注目されている非極性 *m* 面バルク GaN 基板で、GaN 選択横方向成長により作製された基板において、マイクロビーム X 線回折を用いることにより結晶面の局所的な面内での変化が観察できた。そして積層欠陥を接合部付近に生じながら、その接合界面を隔てて両側で結晶面が面内方向で 0.3°程度回転していることを確認した。また選択横方向成長の際に接合部付近で発生した積層欠陥により、*a* 軸に沿った方向に結晶性の悪化領域が形成され、その領域の幅は約 75 μm にも渡ることが確認された。そしてこの積層欠陥発生によって結晶性が悪化した領域の幅は、その基板上に GaN をわずか 1 μm 再成長することによって数倍程度(約 200 μm)にまで欠陥増殖により拡大することが確認された。

キーワード： マイクロビーム X 線、ロッキングカーブ、窒化ガリウム

### 背景と研究目的：

近年、省エネ LED 照明の高輝度化の要請により窒化ガリウム(GaN)系 LED の高効率化、高出力化が強く求められている。現在広く普及している低価格、低出力の GaN 系 LED には、サファイア基板上に成長した GaN 系結晶が用いられている。一方バルクの GaN 基板は高い熱伝導性や低い抵抗率を有していることから高放熱性能や低電圧動作が期待され、さらにホモエピタキシャル成長により低転位密度であることから、GaN 基板上の InGaN-LED は高出力化、高信頼性化に優位と考えられている。今後バルク GaN 基板の使用拡大に伴い低コスト化が進むことが予想され、サファイア基板からバルク GaN への移行が加速するものと考えられる。

一般にバルク GaN 基板の作製は、*c* 面サファイア基板上に厚膜の GaN 層をハイドライド気層成長(HVPE: Hydride Vapor Phase Epitaxy)法によりエピタキシャル成長し、その厚膜 GaN 層を切断しスライスすることで行う。その際にサファイア基板との格子不整合あるいは熱膨張係数差によって貫通転位が発生する。そこでこの貫通転位の問題を解決するため、一般には誘電体などを用いた横方向成長を利用した選択成長法が用いられている[1]。この選択横方向成長構造は、横方向の接合部では弾性変形が生じ、不均一な歪みや微小な結晶面の変化が複雑に内在していることが予測される。このような複雑な歪みおよび結晶面の変化は、デバイス特性に様々な影響を及ぼすと考えられるため、GaN 選択横方向成長構造のバルク GaN 基板における歪みと結晶面の変化を調べ、デバイス特性と紐付けることは、特性の向上に大きく役立つと期待できる。通常歪測定は X 線回折法を用いて行なわれるが、選択横方向成長構造は数ミクロンから数十ミクロン間隔で欠陥密度の粗密が存在するため、通常の X 線回折法を用いて歪の揺らぎを測定することは困難である。

本研究では、このバルク非極性 *m* 面 GaN 基板の選択横方向成長構造における、歪および結晶面の面内での変化を、放射光を用いた X 線マイクロビームの回折法により解析した。

### 実験：

試料には GaN 選択横方向成長構造を有したバルク非極性 *m* 面 GaN 基板上に、有機金属気層成

長(MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)装置で GaN を約 1  $\mu\text{m}$  程度の再成長させた試料を用いた。X 線回折測定は BL13XU 実験ハッチ上流に設置されている X 線ビーム集光装置(入射 X 線のエネルギーは 8 keV、ゾンプレートとスリットを組み合わせることにより縦 0.39  $\mu\text{m}$  × 横 0.17  $\mu\text{m}$  程度に集光)を用いた。受光部には X 線 CCD 検出器カメラを用いて、カメラ長は約 280 mm とした[2][3]。試料ステージを 15  $\mu\text{m}$  間隔で精密に繰り返し移動しながら、それぞれの位置において X 線マイクロビームにより測定試料(非極性  $m$  面 GaN 基板上 GaN 層)のロッキングカーブの面内マッピング測定を行った。尚、ロッキングカーブ測定に用いた回折面は、ビーム広がり低減するために高次の(2-200)回折面を用いた。

### 結果および考察：

図 1 は、GaN 選択横方向成長構造のバルク非極性  $m$  面 GaN 基板上に MOVPE 装置で GaN を約 1  $\mu\text{m}$  再成長させた試料表面の光学顕微鏡像である。 $a$  軸に沿った方向に複数の筋状ファセットの束が幅をもって伸びており、表面モフォロジーが悪化していることが確認される。この筋状ファセット面が  $c$  面であることから積層欠陥に起因したものと考えられる。これは非極性  $m$  面 GaN 基板の選択横方向成長を利用した作製の際に接合部において生じた積層欠陥が、再成長 GaN 層に影響を及ぼしたものと考えられる。また図 1 より、選択横方向成長を用いた構造の接合部付近において表面モフォロジーが悪化している領域は約 200  $\mu\text{m}$  程度であった。

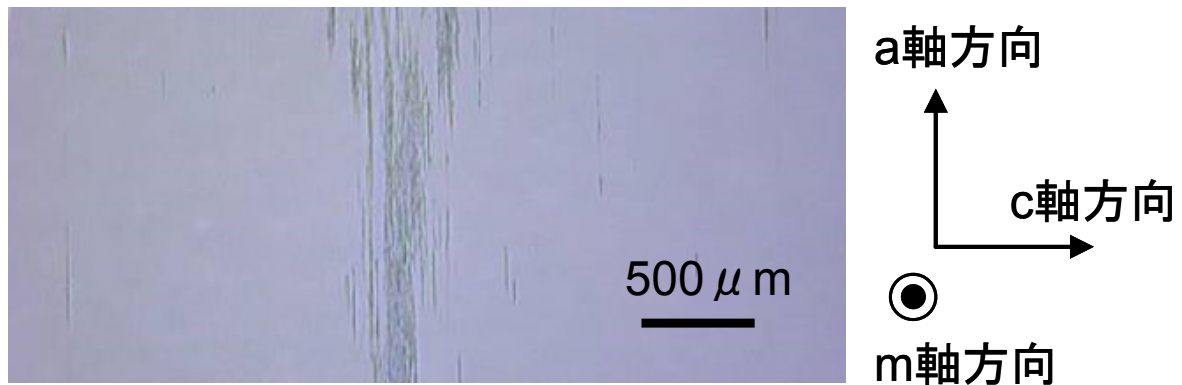


図 1. 試料表面の光学顕微鏡像

次に、再成長の際の表面モフォロジー悪化における積層欠陥の要因を明確にするため、積層欠陥形成面となる  $c$  面の情報を得られるよう、X 線マイクロビームを  $c$  軸方向に入射しロッキングカーブ測定を行った。また図 1 で示した表面モフォロジーの悪化領域を跨ぐように、測定点を  $c$  軸方向へ 15  $\mu\text{m}$  ずつ移動させ、各測定点で GaN 基板の(2-200)回折面を利用してロッキングカーブ測定を行った。GaN 基板の回折角  $\omega$  の変化を各測定点で得ることで、図 2 に示すような一次元( $c$  軸方向)のマッピングが得られた。

図 2 に見られるように、GaN 基板のピーク位置(回折角  $\omega$ )が選択横方向成長構造の接合部を跨いで、両側の領域で異なっていることが確認された。本測定条件下では、X 線マイクロビームの入射が  $c$  軸方向であり、GaN 基板の回折角  $\omega$  が変化していることから、面内において  $c$  軸方向に回転しているものと考えられる。すなわち、選択横方向成長構造の接合部を有する非極性  $m$  面 GaN 基板においては、(2-200)回折面が 0.3°程度面内で回転して、接合部を挟んで両側で異なった方向を向いていることが確認された。また接合部付近ではロッキングカーブの半値幅も増大しており、この回転によって積層欠陥が発生し、結晶性が悪化していると考えられる。さらに図 2 より、接合部におけるロッキングカーブの飛び間隔を見積もると約 75 $\mu\text{m}$  程度であった。図 1 で得られた再成長におけるモフォロジーが悪化している領域(約 200 $\mu\text{m}$  程度)よりも狭かった。基板の接合部付近に発生した積層欠陥領域よりも数倍広い範囲で、再成長 GaN においては結晶性の悪化が生じることが確認された。

図 3 に今回の実験結果で明らかとなったことを模式的に示す。今回用いた非極性  $m$  面 GaN 基板は選択横方向成長の際に接合部において発生した積層欠陥により、 $a$  軸に沿った方向に結晶性の

悪化領域が形成され、その領域の幅は約  $75\ \mu\text{m}$  にも広がることを確認された。またその領域を挟んだ両側で  $c$  軸方向で(2-200)回折面が  $0.3^\circ$ 程度面内で回転して異なった方向を向いていることが確認された。この積層欠陥発生によって結晶性が悪化した領域の幅は、その基板の上に GaN を再成長することによって数倍程度拡大することが確認された。この結晶性悪化領域の拡大は、デバイス形成可能な領域の縮小をもたらすため、今後この結晶面の回転とそれによる欠陥増殖を防ぐことがデバイスの実用化の鍵となると考えられる。

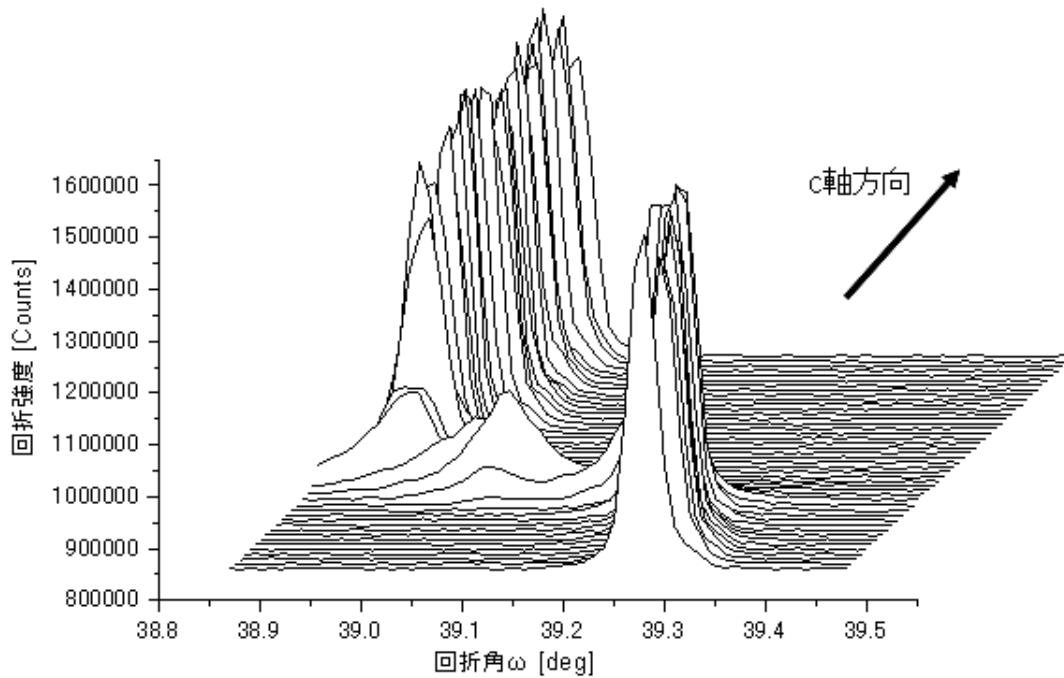


図 2. 接合部両側における GaN 基板の(2-200)回折線の回折角  $\omega$  変化

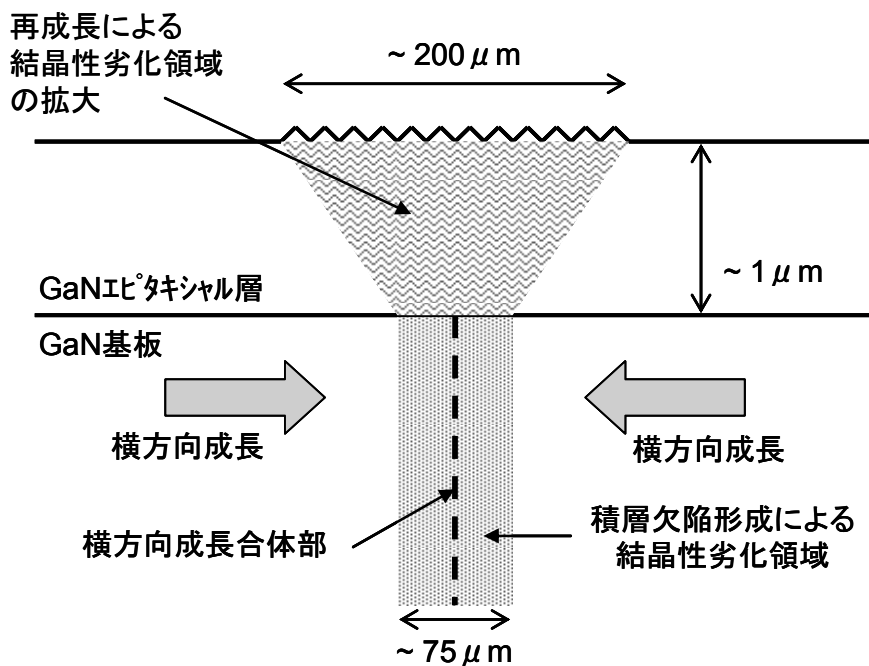


図 3. 基板とエピ構造の模式図

### 結論：

X線マイクロビームを入射する基板面内の位置を変化させて GaN のロックングカーブを測定し、回折角  $\omega$  の変化を調べた。これにより選択横方向成長構造の接合部付近において積層欠陥を生じながら、面方位が  $c$  軸方向に面内で回転して変化することが確認できた。その回転は  $0.3^\circ$  程度と見積もられた。また選択横方向成長の際に接合部付近で発生した積層欠陥により、 $a$  軸に沿った方向に結晶性の悪化領域が形成され、その領域の幅は約  $75 \mu\text{m}$  にも広がることが確認された。そしてこの積層欠陥発生によって結晶性が悪化した領域の幅は、その基板上に GaN をわずか  $1 \mu\text{m}$  再成長することによっても数倍程度拡大することが確認された。

### 参考文献：

- [1] A. Usui, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, L899 (1997).
- [2] Y. Imai, et al., in “CP1221, X-ray Optics and Microanalysis, Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Congress”, M. Denecke and C. Walker ed., P.30.
- [3] S. Takeda, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, L1054 (2006).