

**GaN 結晶の多光子励起 PL 画像からの転位の 3 次元配置に関する数値情報抽出**  
**Numerical data extraction of 3D configuration of dislocations in GaN crystals**  
**from multiphoton-excitation photoluminescence images**

名大未来機構<sup>1</sup>, 東北大金研<sup>2</sup>, °沓掛健太郎<sup>1</sup>, 谷川智之<sup>2</sup>, 松岡隆志<sup>2</sup>, 井上憲一<sup>1</sup>

Nagoya Univ.<sup>1</sup>, Tohoku Univ.<sup>2</sup>

°Kentaro Kutsukake<sup>1</sup>, Tomoyuki Tanikawa<sup>2</sup>, Takashi Matsuoka<sup>2</sup>, and Kenichi Inoue<sup>1</sup>

E-mail: kutsukake@mirai.nagoya-u.ac.jp

我々は、ビックデータに基づいたデータ駆動型の結晶欠陥評価を目指している。本研究では、GaN 基板の多光子励起フォトルミネッセンス (MPPL) の測定画像データから転位の複雑な 3 次元配置を数値情報として自動抽出するアルゴリズムを開発した。

測定試料は HVPE 法で作製した貫通転位密度約  $3 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$  のノンドープ C 面 GaN 結晶基板である。波長 800 nm の光で多光子励起した基板からのバンド端発光を、中心波長 370 nm およびバンド幅 36 nm のバンドパスフィルタを通して観察した。MPPL 画像において、転位は暗点として観察される。試料表面からの深さの異なる個々の 2 次元 MPPL 画像について、画像処理により場所による輝度ムラの補正および 2 値化による転位領域の抽出を行った後、転位領域ごとにナンバリングし、その重心座標を求めた。さらに、空間的に上下に連続する画像間の比較において、最もユークリッド距離が近い暗点を同一の転位として追跡した。画像処理パラメータの最適化やアルゴリズムの改善により、追跡エラーとなる転位の割合を最終的に 1% 以下までに抑えた。

$130 \times 130 \times 115 \mu\text{m}^3$  の領域の転位の 3 次元配置を図 1 に示す。転位が見やすいように MPPL 画像を白黒反転し、コントラストを調整し、3 次元再構成した。c 軸方向にまっすぐ伸びる転位の他に、c 軸から傾いた方向に伸びる転位も確認できる。転位の 3 次元配置に関する数値情報として、まず、図中の 67 本の転位について、c 軸からの傾きを自動抽出した。傾き量を、c 軸方向に  $10 \mu\text{m}$  移動したときの画像の x と y 方向への移動距離に換算した結果を図 2 に示す。図中の原点付近に観察できる c 軸方向にまっすぐ伸びる転位に加えて、GaN 結晶の 6 回対称を反映した斜めに伸びる転位を確認できる。さらに、個々の転位を 3 次元空間内の直線と近似し、その直線と各画像の交点と暗点との距離の 2 乗平均 (直線近似からの分散値) を求めた。その結果、今回の観察範囲では分散値の大きな 3 本のヘリカル転位が存在し、それらの向きと屈折に関する値が定量的に得られた。このような数値情報の取得は、従来の手動による転位配置計測[1]では困難であり、本手法は転位の 3 次元配置解析に大きく貢献できると考えることができる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 (16H03856、17H05325) の助成を受けたものです。

[1] Tanikawa *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 031004 (2018).

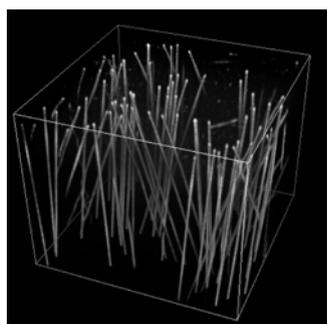


図 1  $130 \times 130 \times 115 \mu\text{m}^3$  の領域の転位の 3 次元配置

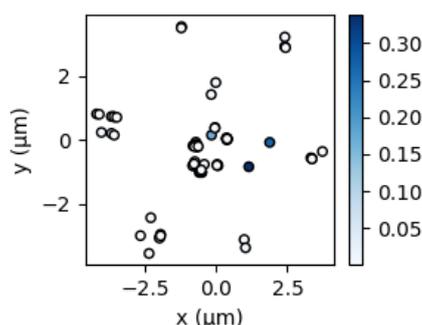


図 2  $10 \mu\text{m}$  成長での転位移動。シンボルの色は近似直線からの分散を表わす。