

# 多光子励起フォトルミネッセンス法による $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶の三次元イメージング

## 3D Imaging of $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ Crystal Using Multiphoton-Excitation Photoluminescence

阪大院工<sup>1</sup>, 農工大<sup>2</sup>, <sup>○</sup>T. Nishikawa<sup>1</sup>, 西河 巴賀<sup>1</sup>, 塚越 真悠子<sup>1</sup>, 後藤 健<sup>2</sup>, 村上 尚<sup>2</sup>, 熊谷 義直<sup>2</sup>,

谷川 智之<sup>1</sup>, 上向井 正裕<sup>1</sup>, 片山 竜二<sup>1</sup>

Osaka Univ.<sup>1</sup>, TUAT<sup>2</sup>, <sup>○</sup>T. Nishikawa<sup>1</sup>, M. Tsukakoshi<sup>1</sup>, K. Goto<sup>2</sup>, H. Murakami<sup>2</sup>, Y. Kumagai<sup>2</sup>,

T. Tanikawa<sup>1</sup>, M. Uemukai<sup>1</sup>, and R. Katayama<sup>1</sup>

E-mail: nishikawa.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ はSiC、GaNよりも大きなバンドギャップ (4.5 eV) を有し、高耐圧かつ低損失なパワーデバイス向けの次世代半導体材料として注目されている。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の結晶成長条件の最適化やパワーデバイスの故障解析には、結晶欠陥の評価技術が必要不可欠である。しかし、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶の欠陥評価技術はエッチピット法や透過型電子顕微鏡 (TEM) などの試料の加工を伴う手法が主であり、非破壊手法はX線トポグラフィーに限られている。本研究では、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶の欠陥の非破壊評価を目的として多光子励起フォトルミネッセンス (MPPL) 三次元イメージングを行った。

転位密度  $10^4 \text{ cm}^{-2}$  程度の(001)  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板の上にハライド気相成長法でホモエピタキシャル成長 (膜厚  $6.8 \mu\text{m}$ ) をさせた試料を用いて室温で MPPL 測定を行った。波長  $1030 \text{ nm}$  ( $1.2 \text{ eV}$ ) のフェムト秒レーザを励起光源として用いた。開口数  $0.80$  の対物レンズを用いて試料にレーザ光を集光照射し、放出された MPPL 光を検出した。CCD 分光器を用いて MPPL スペクトルを測定し、焦点位置を走査しながら光電子増倍管で MPPL 光を検出して三次元イメージングを行った。

深さ  $10 \mu\text{m}$  の焦点位置で測定した基板からの MPPL スペクトルを Fig. 1 に示す。 $3.0 \text{ eV}$  付近 (UVL) と  $2.3 \text{ eV}$  付近 (YL) に発光が現れた。なお、UVL はフィルターにより高エネルギー側が減衰され、低エネルギー側の肩が検出されている。UVL と YL における PL 強度と励起強度との関係を Fig. 2 に示す。UVL 強度と YL 強度はそれぞれ励起強度のおよそ 4 乗と 3 乗に比例した。UVL 強度の励起強度依存性から 4 光子によるバンド間励起を介した発光であることが分かる。また、これらの発光は不純物準位を介した遷移に起因するものと考えられる。

UVL と YL の三次元 MPPL 像を Fig. 3 に示す。青色と黄色はそれぞれ UVL と YL に対応する。UVL はホモエピタキシャル層と基板どちらにおいても  $[010]$  方向に沿って分布していた。YL は基板のみにみられ、不均一に分布していた。これらの発光分布は、結晶成長表面のマクロステップなどの進行に伴う不純物の不均一な取り込みに起因すると思われる。以上の結果から、MPPL 法による三次元イメージングにより  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の結晶成長の三次元挙動を可視化できることが分かった。当日は、MPPL 法で観察可能な結晶欠陥について議論する。

謝辞：本研究は科研費 JP20H02640 の助成を受けたものです。

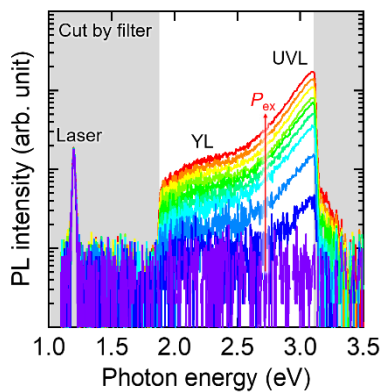


Fig. 1 MPPL spectra.

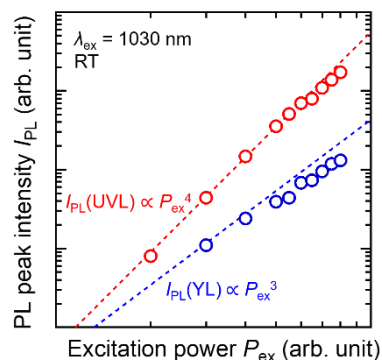


Fig. 2 PL intensities as a function of excitation power.

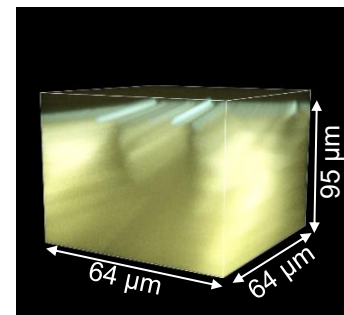


Fig. 3 3D MPPL image.