

酸化ガリウム半導体内部への偏光依存ナノ周期構造形成と  
そのメカニズム解明

Formation mechanisms of polarization-dependent periodic nanostructures in  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
semiconductor

○中西 佑太<sup>1</sup>、下間 靖彦<sup>1</sup>、坂倉 政明<sup>2</sup>、三浦 清貴<sup>1</sup>

(1.京大院工、2. 京大産連本部)

Yuta Nakanishi<sup>1</sup>, Yasuhiko Shimotsuma<sup>1</sup>, Masaaki Sakakura<sup>2</sup>, Kiyotaka Miura<sup>1</sup>

(1.Kyoto Univ., 2.SACI, Kyoto Univ.)

E-mail: y.nakanishi@func.mc.kyoto-u.ac.jp

【緒言】近年、我々は赤外フェムト秒レーザーのダブルパルス列を用いて Si および GaP 結晶の内部構造を直接改質することに成功した。特に間接遷移型半導体の場合においてのみ、偏光依存ナノ周期構造が形成されることを経験的に見出ししている<sup>1,2)</sup>。本研究では、バンドギャップによる影響を確かめるため、間接遷移型半導体との報告がある $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結晶 ( $E_g \sim 4.8$  eV) にフェムト秒レーザーを集光照射し、光誘起される構造変化について評価した。さらに、Sn ドープ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結晶についても同様の評価を行った。

【実験】透過波長のフェムト秒レーザーパルス (波長 1240 nm、パルス幅 110fs、繰り返し周波数 1 kHz) をビームスプリッターに通し、一方を時間遅延させた後、再びビームスプリッターを通しダブルパルス列とした。100倍 (NA 0.85) の補正環付き対物レンズを用いて球面収差補正したパルス列を $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 単結晶基板 (単斜晶 $\beta$ -gallia 構造、厚さ 600  $\mu$ m) の内部 100  $\mu$ m に(010)面に垂直な方向から集光照射した。照射後、偏光顕微鏡で観察後、集光部近傍が表面に露出するまで表面研磨を行い、FE-SEM で観察した。

【結果と考察】Fig. 1 にレーザー集光部の偏光顕微鏡像を示す。Sn ドープされていない試料では集光部中央に複屈折を示す構造が誘起されるのに対し、

Sn がドープされた試料ではそのような変化は観測されなかった。また Sn ドープの有無にかかわらず、構造の下部では中央部から劈開面である(100)、(001)面に沿って十字にクラックが形成していることがわかった。光誘起構造変化の詳細

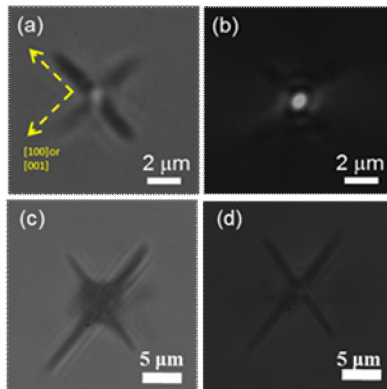


Fig.1 (a,c) Open-nicol and (b,d) cross-nicol images of the photoinduced structures inside (a,b) undoped  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Or (c,d) Sn-doped  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> crystals.

を明らかにするため、研磨後の試料を FE-SEM で観察した (Fig. 2)。二次電子像 (SEI) において、偏光方向に対して垂直な方向に配列したナノ周期構造が観測されており、幅 70~80 nm 程度の空孔が形成されていることがわかった。これまでに間接遷移型半導体 (Si、SiC、GaP) 内部に光誘起された偏光依存ナノ周期構造は、偏光方向に平行に配列するのに対し<sup>1,2,3)</sup>、石英ガラスをはじめとした誘電材料内部では、偏光方向に垂直に配列することが知られている<sup>4,5)</sup>。 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 内部に形成された構造は誘電材料の場合に類似しており、これはバンドギャップが半導体材料の中では極めて大きく、光励起後の電子の振る舞いが石英ガラスに類似しているためと考えた。発表では、Sn ドープ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結晶についての結果も報告する。

【結言】 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 内部にフェムト秒レーザーを照射し、偏光方向に対して垂直に配列したナノ周期構造を形成した。 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 内に形成されるナノ周期構造は、バンドギャップが大きいこと、さらには光誘起プラズマと光との相互作用が偏光方向に垂直なナノ周期構造形成に関与していると考えられる。

【参考文献】

- 1) Phys. Stat. Sol. A 212, 715 (2015).
- 2) J. Appl. Phys. 106, 054307 (2009).
- 3) J. Laser Nano/Microengineering 11, 1 (2016).
- 4) Phys. Rev. Lett. 91, 247405 (2003).
- 5) Adv. Mater. 22, 36, 4039-4043 (2010).

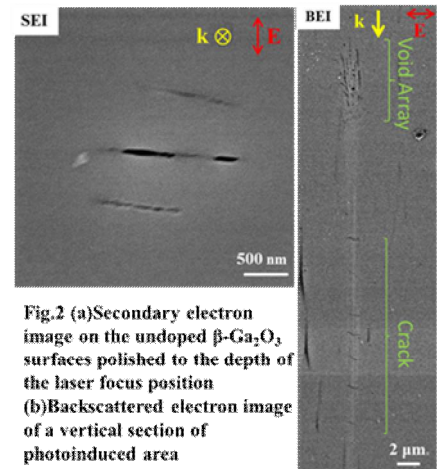


Fig.2 (a)Secondary electron image on the undoped  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> surfaces polished to the depth of the laser focus position (b)Backscattered electron image of a vertical section of photoinduced area