

課題番号 :2019A-E16
 利用課題名 (日本語) :PLD 法による p 型 β -Ga₂O₃ 薄膜のドーパント原子構造および電子構造の評価
 Program Title (English) :Atomic and electronic structures of the dopants in the PLD-grown p-type β -Ga₂O₃ thin film
 利用者名(日本語) :唐 佳藝¹⁾, 三木 一司¹⁾, 西端 龍太郎¹⁾, 嶋津 亮¹⁾, 宮本 将伸¹⁾, 宮脇 涼太¹⁾, Seo Okkyun²⁾
 Username (English) :Jiayi Tang¹⁾, Kazushi Miki¹⁾, Ryutaro Nishibata¹⁾, Ryo Shimazu¹⁾, Masanobu Miyamoto¹⁾, Ryota Miyawaki¹⁾, Seo Okkyun²⁾
 所属名(日本語) :1) 兵庫県立大学工学研究科, 2) 国立研究開発法人物質・材料研究機構
 Affiliation (English) :1) Univeristy of Hyogo, 2) National Institue for Material Science
 キーワード :酸化ガリウム、X線光電子分光法、ドーパント、電子構造

1. 概要 (Summary)

最近の研究では、 β 型酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) のドーパント濃度が熱アニール雰囲気の影響を強く受けることが報告されている [1, 2]。ドーパント濃度を精密的に制御するためには、 β -Ga₂O₃ における電気伝導の起源、電氣的輸送機構、アニール中に生じるドーパント濃度変動の原因の解明は重要な課題である。また、 β -Ga₂O₃ 結晶内の局所的なドーパント原子構造や電子構造の物性と電気特性の関係を解明し、それに基づいて制御することが重要である。本研究ではドーパントの局所原子構造や局所電子構造に着目し、電氣的輸送機構を統合的に理解し、結晶品質および電氣的特性を完全制御することを目的とする。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

本実験では、高輝度放射光を用いた X 線光電子分光法を利用し、 β -Ga₂O₃ 結晶中の n 型および p 型のドーパントの局所的な原子構造や電子構造を調べる。 β -Ga₂O₃ 結晶構造中のドーパント濃度は $10^{19} \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ であり、通常の X 線源では信号は検出限界以下であり、SPring-8 高輝度シンクロトロン放射光を利用し、BL23SU 表面化学実験ステーションでの高分解能 X 線光電子分光を用いて、表面からバルクまでのドーパント原子構造、電子状態、酸素空孔構造を検出する。また、酸素および窒素雰囲気中熱アニールにより、ドーパントの振る舞いを解明する。 β -Ga₂O₃ 結晶の X 線光電子分光スペクトルの測定は SPring-8 の BL23SU で行った。測定は超高真空下 ($10^{-8} \sim 10^{-9} \text{ Pa}$)、室温で行った。放射光のエネルギーは全ての試料に対し 750 eV で survey、O 1s, Ga 3s, Ga 3p, Ga 3d, Valence Band のスペクトルを、700eV で survey、Sn 3d のスペクトルを測定した。O₂ アニールされた試料は 1325 eV で、N₂ アニールされた試料、アニールなし試料は 1328 eV で、survey、Ga 2p のスペクトルを測定した。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

図 1 は、O₂ および N₂ アニール後とアニールなしの β -Ga₂O₃ の O 1s スペクトルを示している。O 1s スペクトルには結合エネルギーが 530.6 eV と

532.1 eV の 2 つ成分がある。E_B=530.6 eV 成分は、 β -Ga₂O₃ 格子内の酸素原子であり、E_B=532.1 eV 成分は、格子内の酸素空孔である。図 1 に示すように、熱アニール前の酸素空孔はほとんどなく、N₂ アニール後よりも O₂ アニール後の酸素空孔が多いことが分かった。これらの結果は、Sn 3d スペクトルとよく一致している。アニールなしおよび N₂ アニール後の β -Ga₂O₃ の Sn 3d_{5/2} の結合エネルギーは 486.9 eV であり、それは Sn⁴⁺ 化学状態と考えられ、O₂ アニール後の結合エネルギーは 486.3 eV であり、Sn²⁺ 化学状態と考えられる。これらの結果は、N₂ アニール後よりも O₂ アニール後の方がより多くの酸素空孔があることを示しています。

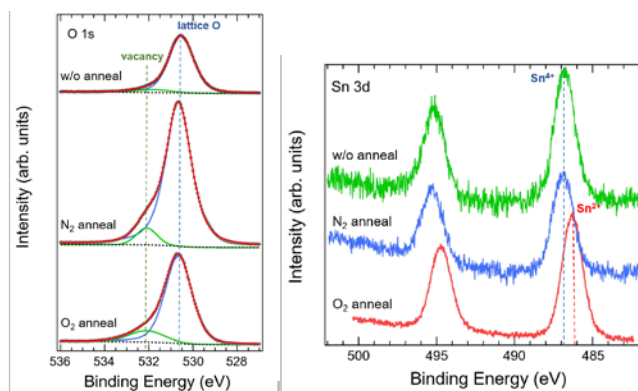


Fig. 1 O 1s spectra of β -Ga₂O₃ without annealing, after N₂ annealing and O₂ annealing. Fig. 2 Sn 3d spectra of β -Ga₂O₃ without annealing, after N₂ annealing and O₂ annealing.

4. その他・特記事項 (Others)

- [1] A. Kuramata *et al.* 2016 *Jpn. J. Appl. Phys.* **55** 1202A2.
- [2] Z. Galazka *et al.* 2014 *J. Crystal. Growth.* **404** 184.