

課題番号 :2018B-E20
利用課題名 (日本語) :n型および p 型酸化ガリウムのドーパント局所原子構造及び電子構造の解明
Program Title (English) :Local atomic and electronic structures of n⁻ and p⁻ type dopants of gallium oxide
利用者名(日本語) :唐 佳藝¹⁾, Seo Okyyun²⁾, 西端 龍太郎¹⁾, 嶋津 亮¹⁾, 宮脇 涼太¹⁾, 宮本 将伸¹⁾, 吉越 章隆³⁾, 三木 一司¹⁾
Username (English) :J.Tang¹⁾, O.Seo²⁾, R.Nishihata¹⁾, R.Shimadzu¹⁾, R. Miyawaki¹⁾, M.Miyamoto¹⁾, A.Yoshigoe³⁾, K.Miki¹⁾
所属名(日本語) :¹⁾兵庫県立大学 ²⁾(国)物質・材料研究機構 ³⁾日本原子力研究開発機構
Affiliation (English) :1) University of Hyogo, National Institute for Materials Science, 2) JAEA
キーワード: 酸化ガリウム、光電子分光、ドーパント

1. 概要 (Summary)

パワー半導体は、電圧や電流を最適値に変換し、自動車のモーター制御などに欠かせないものである。パワー半導体材料として、近年になってハイブリット車や電気自動車での使用に向けた 1.2kV という大耐圧な製品が求められてきている。それゆえ、従来の Si よりも性能のよい次世代パワーデバイスとして SiC、GaN の研究が進んでいる。その中で、近年、物性値から判断してより低損失化が期待できる β 型酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) が注目されつつあるが、p 型ドーパントが無い致命的な課題が残っている。本研究では、p 型ドーパントの探索に向けて、n 型ドーパント Sn をドーブしたアニール条件の違う β 型酸化ガリウム基板を、放射光 X 線光電子分光測定を行い、結合状態、元素の同定から、アニール条件による結晶構造およびドーパントの電子状態を調べた。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

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。

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。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

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、yanagida (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。O₂ アニール試料に対して N₂ アニール試料の Ga 2p スペクトルが 0.60eV 程高結合エネルギー側にシフトするという結果が得られた。また、O 1s スペクトルよりアニールを行った 2 つのサンプルに対して、yanagida 試料の O1s のピークが 0.75eV 程、高結合エネルギー側にシフトするという結果が得られた。したがって、 β -Ga₂O₃ 結晶構造はアニール条件により違うことが分かった。さらに、Sn 3d のスペクトルにより Sn 化学状態は Sn⁰ のみと観察された。今後はアニールの条件による結晶構造の違いを詳しく調べる。

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.