

## $\beta$ -(Sc<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ヘテロ接合のバンドオフセット評価 Evaluation of band offset at β-(Sc<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> heterointerface

是石和樹<sup>1</sup>, 相馬拓人<sup>1</sup>, 組頭広志<sup>2,3</sup>, 大友明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東工大物質理工, 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

<sup>2</sup>東北大多元研, 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

<sup>3</sup>高エネ研, 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

Kazuki KOREISHI<sup>1,\*</sup>, Takuto SOMA<sup>1</sup>, Hiroshi KUMIGASHIRA<sup>2,3</sup>, and Akira OHTOMO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Tech., Dept. Chem. Sci. Eng., 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan

<sup>2</sup>Tohoku Univ., IMRAM 2-1-1, Katahira, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

<sup>3</sup>KEK-IMSS, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

### 1 はじめに

近年注目されるワイドギャップ半導体 β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(GO)は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>との混晶化によりバンドギャップ制御が可能である。一方で我々は、新しいバンドギャップ制御の手段として Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> との混晶化を試み、Sc 置換による分光的バンドギャップ( $E_g$ )の増大を確認した。本研究では、 $E_g$ の増大とバンド構造の関連を明らかにするために β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/β-(Sc<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(SGO)ヘテロ接合を作製し、放射光光電子分光(PES)を用いて、界面のバンドオフセットを評価した。

### 2 実験

酸素ラジカル支援パルスレーザー堆積(PLD)法により、β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(100)基板の上に(i)GO(100 nm), (ii)SGO(20 nm,  $x = 0.17, 0.32$ ), (iii)GO(~3 nm)/SGO(20 nm,  $x = 0.17, 0.32$ )の薄膜構造を作製した。X線回折測定から薄膜の構造を評価し、単相かつコヒーレント成長した薄膜が得られていることを確認した。Sc組成はオージェ電子分光法により決定した。

β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に対する価電子帯オフセット( $\Delta E_V$ )は、(i)–(iii)の Ga 3*p* および Sc 2*p* 内殻と価電子帯上端(VBM)の PES スペクトルから求めた。また、 $\Delta E_V$  と反射型電子エネルギー損失分光法(REELS)から求めた  $E_g$  から、伝導帯オフセット( $\Delta E_C$ )を求めた。PES測定は、BL-2A に常設された光電子分光測定装置を用いて室温、 $h\nu = 800$  eV の条件で行った。

### 3 結果および考察

図1に、薄膜試料(i), (ii)の REELS スペクトルを示す。スペクトルの立ち上がり位置から推定した  $E_g$  は、Sc 組成の増大に伴い増大することが確認された。図2に、(i)–(iii)の試料に対して得られた PES スペクトルを示す。各スペクトルの束縛エネルギーを炭素の 1*s* ピークによって補正し、以下の式から  $\Delta E_V$  を求めた[1]。

$$\Delta E_V = E_2 - E_1 - E_3, E_1 = E_{\text{Ga } 3p}^{(i)} - E_{\text{VBM}}^{(i)},$$

$$E_2 = E_{\text{Sc } 2p}^{(ii)} - E_{\text{VBM}}^{(ii)}, E_3 = E_{\text{Sc } 2p}^{(iii)} - E_{\text{Ga } 3p}^{(iii)}$$

表1に、以上の結果から得られた  $E_g$ ,  $\Delta E_V$ ,  $\Delta E_C$  をまとめる。 $\Delta E_V$  はいずれの Sc 組成においても 0.1 eV より小さく、測定誤差( $\sim \pm 0.1$  eV)を踏まえると、 $E_g$

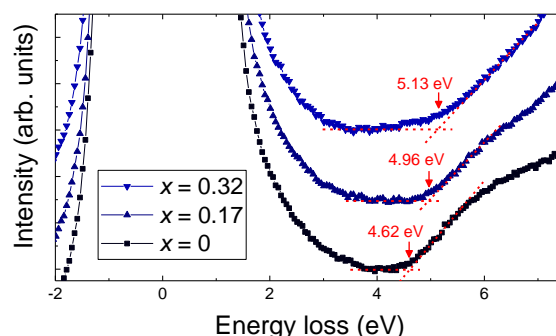


図1. β-(Sc<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜( $x = 0, 0.17, 0.32$ )の REELS スペクトル

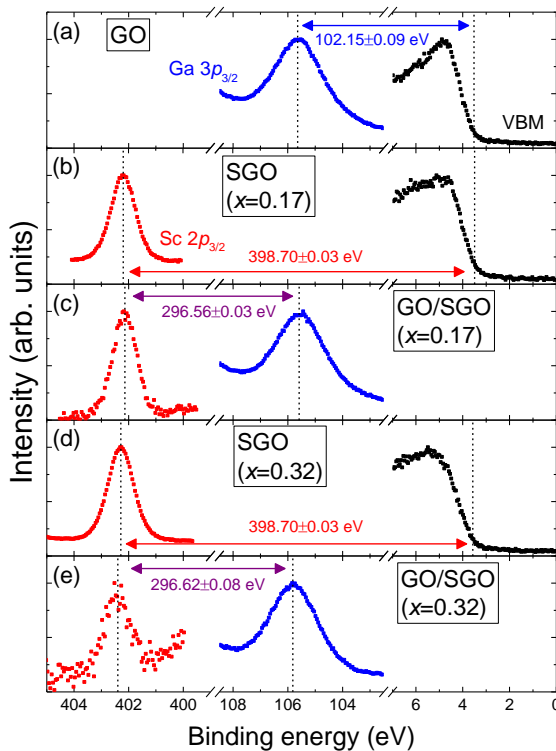


図2. (a)GO 薄膜, (b), (c)SGO 薄膜, GO/SGO 界面( $x = 0.17$ ), (d), (e)SGO 薄膜, GO/SGO 界面( $x = 0.32$ )の PES スペクトル。

の増大はほぼ  $\Delta E_C$  の寄与によるものだと言える。この傾向は  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3/\beta\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$  界面においても確認されており[2], VBM が主に局在化した O 2p 軌道から成ることに由来すると考えられる。

表 1. 各 Sc 組成における  $E_g$ ,  $\Delta E_V$ ,  $\Delta E_C$

Sc content	$E_g$ (eV)	$\Delta E_V$ (eV)	$\Delta E_C$ (eV)
0	4.62	0	0
0.17	4.96	-0.02	0.32
0.32	5.13	-0.07	0.44

#### 4 まとめ

PLD 法で作成した薄膜試料に対して放射光 PES 測定を行い、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3/\beta\text{-(Sc}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$  ヘテロ界面のバンドオフセット( $\Delta E_V$ ,  $\Delta E_C$ )を決定した。その結果、 $E_g$  の増大は主に  $\Delta E_C$  に起因することが分かった。これは、n 型半導体である  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  に対して SGO 薄膜をバリア層として利用できることを示しており、ヘテロ接合構造を用いた変調ドーピングや量子井戸のサブバンド間遷移の制御が期待できる。

#### 参考文献

- [1] E. A. Kraut *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **44**, 1620 (1980).  
 [2] R. Wakabayashi *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **112**, 232103 (2018).

\* koreishi.k.aa@m.titech.ac.jp