

β -(Sc_xGa_{1-x})₂O₃/β-Ga₂O₃ ヘテロ接合のバンドオフセット評価 Evaluation of band offset at β-(Sc_xGa_{1-x})₂O₃/β-Ga₂O₃ heterointerface

是石和樹¹, 相馬拓人¹, 組頭広志^{2,3}, 大友明¹

¹東工大物質理工, 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

²東北大多元研, 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

³高エネ研, 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

Kazuki KOREISHI^{1,*}, Takuto SOMA¹, Hiroshi KUMIGASHIRA^{2,3}, and Akira OHTOMO¹

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

²Tohoku Univ., IMRAM 2-1-1, Katahira, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

³KEK-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-Ga₂O₃(GO)は、Al₂O₃やIn₂O₃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 Sc₂O₃ 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-Ga₂O₃/β-(Sc_xGa_{1-x})₂O₃(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-Ga₂O₃(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-Ga₂O₃に対する価電子帯オフセット(ΔE_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、 ΔE_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(ΔE_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 ΔE_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 , ΔE_V , ΔE_C をまとめる。 ΔE_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

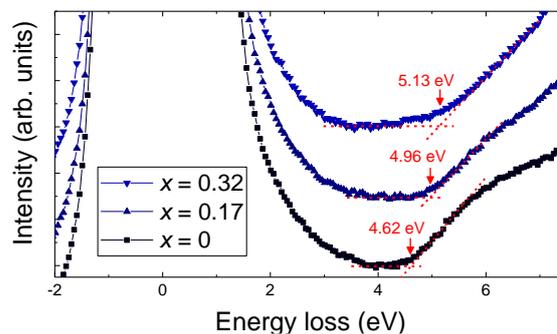


図1. β-(Sc_xGa_{1-x})₂O₃ 薄膜($x = 0, 0.17, 0.32$)の REELS スペクトル

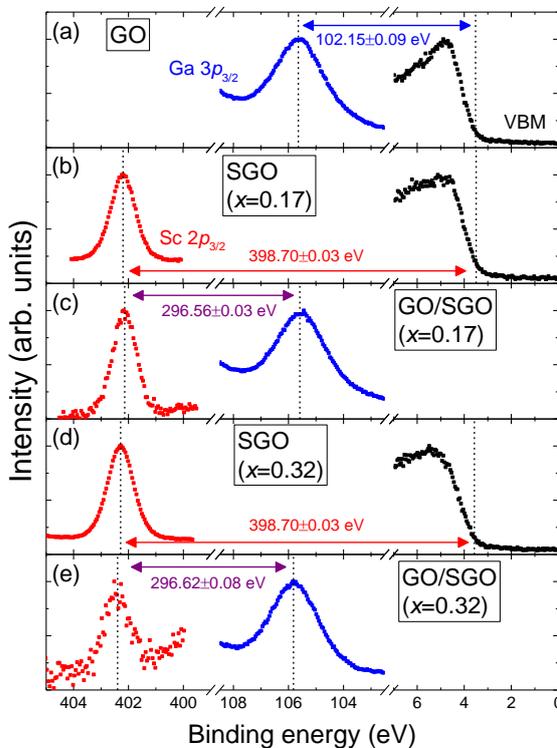


図2. (a)GO 薄膜, (b), (c)SGO 薄膜, GO/SGO 界面($x = 0.17$), (d), (e)SGO 薄膜, GO/SGO 界面($x = 0.32$)の PES スペクトル。

の増大はほぼ ΔE_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 , ΔE_V , ΔE_C

Sc content	E_g (eV)	ΔE_V (eV)	ΔE_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(ΔE_V , ΔE_C)を決定した。その結果、 E_g の増大は主に ΔE_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