

酸化物トンネル FET 開発に向けた SnO/IGZO ヘテロ接合のバンドダイアグラムの決定

SATテクノロジー・ショーケース2024

■ はじめに

IoTの増大に伴って、アモルファスIn-Ga-Zn-O (a-IGZO) を用いたディスプレイ駆動素子である電界効果トランジスタ(FET)の低消費電力化が求められている。FETの電流スイッチング特性(SS値)の改善が有効であるが、駆動原理に基づいた限界がある。そこで我々は、従来型FETのSS値の限界を打破しうる新原理デバイスとしてトンネルFETに着目した[1]。a-IGZOをチャンネル層とするトンネルFETの実現には、a-IGZOとタイプII型の接合を形成しうるp型の酸化物半導体が必要である。先行研究よりp型酸化物半導体SnOとa-IGZOの接合はタイプII型となる事が予想されるが、接合界面に生じる空乏層域でのバンド曲がりやを考慮したバンドダイアグラムは実験的に未解明である[2]。そこで、本研究ではSnO薄膜、a-IGZO薄膜をパルスレーザー堆積法(PLD法)により作製し、放射光光電子分光測定を用いて実験的にヘテロ接合のバンドダイアグラムを決定した。

■ 活動内容

1. PLD法による薄膜作製

トンネルFETの実現には、幾何学的に急峻なp-nヘテロ接合界面が必要である[3]。そのため、各層の表面平坦性を評価軸としたPLD法によるSnO単相薄膜およびa-IGZO薄膜の作製を行った。作製したSnO薄膜では原子間力顕微鏡(AFM)像からSnO単位格子のc軸長に対応するステップ&テラス構造が観測された。一方で、a-IGZO薄膜では移動度において最高性能を示すFETと同程度の表面粗さが得られた。以上より、幾何学的に急峻なp-nヘテロ接合を得るのに最適な製膜条件を決定した。

2. 放射光施設を利用した試料の電子状態評価

1.にて決定した条件で作製したSnO薄膜、a-IGZO薄膜を用いて、放射光光電子分光測定を行い、それぞれの仕事関数(Φ)およびイオン化ポテンシャル(I_p)を算出した。測定はKEK PFにて行い、作製した試料は真空ベッセルを用いて、大気非暴露環境下にて搬送した。SnO、a-IGZO薄膜の Φ および I_p から決定したSnO/a-IGZOヘテロ接合のバンドダイアグラムを図に示す。ヘテロ接合界面に生じる空乏層域の内蔵電位を考慮すると、SnOとa-IGZOのヘテロ接合はタイプI型となり、その伝導帯下端(E_C)のオフセットは非常に小さい事が明らかになった。以上からa-IGZOに対してタイプII型の接合を取るにはさらに広いバンドギャップを有し、a-IGZOの E_C よりも高い準位に E_C が

位置するp型酸化物半導体が必要となる事が考えられる。

3. デバイス作製

a-IGZOをチャンネル層とするトンネルFETの実現に向けて、1.にて作製したa-IGZO薄膜を用いた従来型のFETの試作を進めている。試作デバイスはコプレーナ型構造とし、絶縁膜層としてHfO₂をスパッタリング法により100nm堆積した。電極には真空蒸着法によりAu/Tiを100nm/10nm堆積した。作製したデバイスの電流-電圧特性は半導体パラメーターアナライザーを用いて評価した結果、既報と比べて、オフ状態のリーク電流(I_{off})が7桁高かった[4]。これは酸素欠損に起因してキャリア密度が過剰となっていることが考えられる。良好なオン・オフ特性を得るためには、 I_{off} 低下が不可欠であるため、今後は低い I_{off} 値が得られるようなa-IGZO製膜時の酸素分圧条件の探索が必要だと考えられる。

■ 参考文献

- [1] 高木信一, "トンネル FETへの期待と将来展望," 応用物理 **88**, 382-388 (2019).
 [2] D. H. Lee *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **13**, 55676, (2021).
 [3] K. Kato *et al.*, *AIP Advances* **9**, 055001 (2019).
 [4] T. Kamiya *et al.*, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, **11**, 044305 (2010).

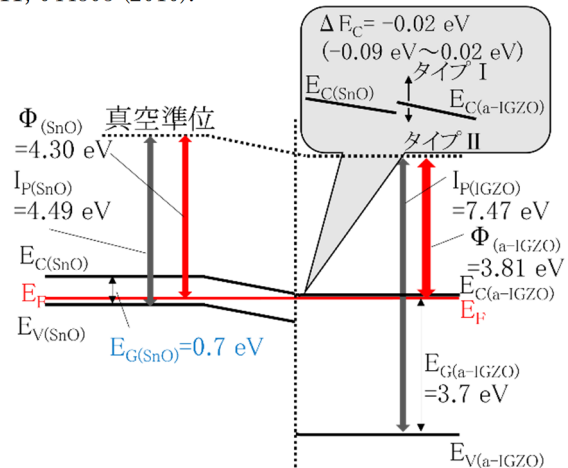


図 放射光光電子分光測定より決定した
SnO/a-IGZO のバンドダイアグラム

代表発表者 清野 隆介(せいの りゅうすけ)

所属 東京理科大学 先進工学研究科
 マテリアル創成工学専攻
 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
 電子光基礎技術研究部門

問合せ先 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1

TEL: 03-5876-1421

東京理科大学 先進工学研究科マテリアル創成工学専攻
 西尾研究室

8223543@ed.tus.ac.jp

■キーワード: (1)材料工学
 (2)エレクトロニクス
 (3)放射光

■共同研究者: 箕原 誠人、産業技術総合研究所
 浅沼 周太郎、産業技術総合研究所
 小澤 健一、高エネルギー加速器
 研究機構
 西尾 圭史、東京理科大学