

課題番号 : 2024B-E16
利用課題名 (日本語) : 最先端半導体薄膜・ヘテロ構造における3次元バンド構造観測
Program Title (English) : Observation of three dimensional band structures of advanced semiconductors and their heterostructures
利用者名(日本語) : 小林正起¹⁾, 有川世修¹⁾, 棟方晟啓¹⁾, 佐々木洸¹⁾, 武田崇仁²⁾
Username (English) : M. Kobayashi¹⁾, S. Arikawa¹⁾, A. Munakata¹⁾, H. Sasaki¹⁾, T. Takeda²⁾
所属名(日本語) : 1) 東京大学大学院工学系研究科, 2) 広島大学大学院先進理工系科学研究科
キーワード: ワイドギャップ半導体、窒化物、半導体、トポロジカル絶縁体

1. 概要 (Summary) 目的・用途・実施内容

情報技術の革新は高品質半導体物質を基にした高性能電子デバイスによって支えられている。現代の半導体技術はシリコンをベースとしたデバイスにより成り立っているが、用途に応じてシリコンを超える性能を有する半導体材料として GaN [E. A. Jones *et al.*, IEEE JESTPE **4**, 707 (2016).], SiC [T. Kimoto *et al.*, JJAP **54**, 040103 (2015).], Ga₂O₃ [M. Higashiwaki *et al.*, Semicond. Sci. Technol. **31**, 034001 (2016).]等の開発が進んでいる。また、これらの物質を用いた高電子移動度トランジスタ (HEMT) [L.-H. Hsu *et al.*, Micromachines **12**, 01159 (2021).]や量子井戸の開発も進んでいる。このように、**Si を超えた性能を有する最先端半導体材料は次世代電子デバイスへの応用が期待されている。**

GaN や Ga₂O₃ などの半導体材料やそのヘテロ構造では、それらの応用に向けて基礎的な性質について理解を深めることが重要となる。例えば、GaN のバンド構造は理論的に予想されているが、実験的なバンド構造直接観測はほぼ例がない。また、Ga₂O₃ ではバンドギャップの温度変化が観測されているが価電子帯上端と伝導帯下端が別の依存性を示すことが予想されている。**最先端半導体材料及びそのデバイス特性を理解することは、次世代電子デバイスへの応用において重要と考えられる。**

今回の実験では、次世代デバイス応用が期待されるワイドギャップ半導体 GaN, 窒化物半導体 ScAlN, トポロジカルディラック半金属 In:Sn, NiO/Si ヘテロ構造などの電子状態を調べた。報告書では、In:Sn の結果を報告する。他の物質については、データを解析中である。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

測定には、SPring-8 重元素科学ビームライン (BL23SU) の光電子分光装置を用いた。測定した試料は、In をドーピングした α -Sn (In_xSn_{1-x}) 薄膜である。In 濃度が 8.5%と 12.5%の試料を測定した。光電子分光測定は、温度 $T = 77$ K で行い、650-1250 eV の入射光エネルギーを用いた。エネルギー分解能は約 150-300 meV である。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

図 1 は、In:Sn 薄膜の光電子分光データを示す。図 1(a)に示した、Sn 3*d* 内殻スペクトルは、In をドーピングしていない α -Sn および β -Sn と比較している。In 濃度の増加に伴い、 α -Sn と比較して Sn ピークが低エネルギー側にシフトしており、ホールドーピングされている様子が見て取れる。同じ傾向は、価電子帯スペクトルで明確に示されており、半金属的な α -Sn から In ドーピングをすることで Fermi 準位上の状態密度が増加し、金属的な β -Sn に近づいていく様子が観測された。In:Sn 薄膜では、ARPES によるバンド分散も観測されており、不純物ではなく単相 In ドープ α -Sn の本質的な電子状態を捉えた結果と考えられる。

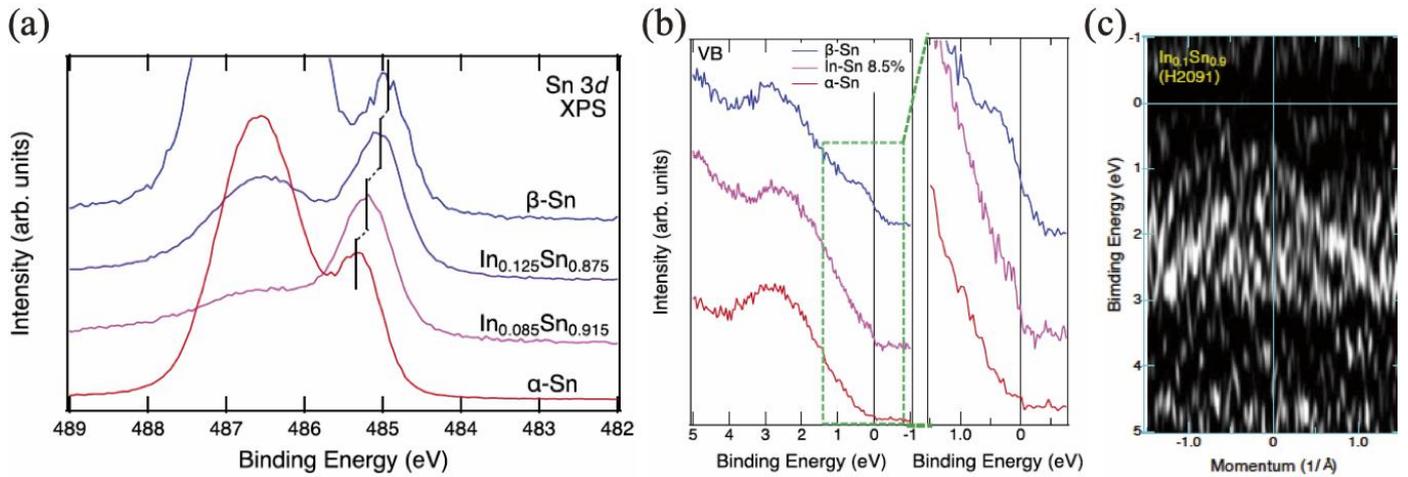


図 1. In:α-Sb 薄膜の光電子分光結果. (a) Sn 3d XPS スペクトル. (b) 価電子帯 (VB) スペクトル. (c) ARPES スペクトル.

4. その他・特記事項 (Others)

BL23SU での実験に関して、原子力研究機構の藤森伸一氏にご支援いただいた。本研究の一部は、スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点の支援を受けて行われた。