

加速器科学インターンシップ終了報告書

東京理科大学 鈴木晴也

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光実験施設の BL-3B (VUV 24m 球面回折格子分光器 (SGM) 角度分解光電子分光実験ステーション) において、10 – 300 eV の真空紫外 (VUV) から軟 X 線 (SX) 領域の放射光と VSW 社製 HA54 エネルギー分析器を備えた角度分解光電子分光 (ARPES) 装置 (ARPES II) を用いて STO 基板上に成長させた Bi_2WO_6 の浅い内殻準位の高分解能光電子分光測定を行った。また、測定データから試料の電子構造を解析する実習を行った。

酸化物半導体において p 型の発現を目指し、様々な研究が行われている。その一つの試みとして、重い遷移金属カチオンの ns^2 ローンペア軌道 (Sn^{2+} , Bi^{3+} など) を価電子帯に混成させる研究が報告されている。このうち Sn 系酸化物半導体では、p 型の発現がいくつか報告されているが、 Sn^{2+} は準安定状態であり、より安定な Sn^{4+} へ安易に価数変化してしまうため、現状ではキャリア密度などの物性の制御が難しいとされている。そこで私は Bi 系酸化物半導体 Bi_2WO_6 に注目した。 Bi_2WO_6 は構造、組織的に柔軟性のあるペロブスカイト構造をとり、不純物ドーピングによる置換が起きやすいといった特徴から、 W^{6+} サイトに Nb^{5+} や Ta^{5+} を置換すれば正孔が生成するはずである。そして正孔輸送ルートである価電子帯は Bi^{3+} 由来の s 軌道の混成によって O2p 軌道からの束縛から逃れ、キャリアの局在化を緩和することによって高い正孔移動度を得られるという考えである。

既に本試料において、ホール測定の結果でホール係数が正の値をとることから、電気特性として p 型伝導が発現していることがわかっている。今回の実習では、ホール測定の結果を裏付ける価電子帯 PES スペクトルを得ることができた。価電子帯上端から低結合エネルギー側になめらかな裾が生じている様子が見て取れた。これは p 型伝導性特有の電子状態であることが知られている。また、フェルミ準位近傍に状態密度が観察された。 Bi_2WO_6 において、この状態密度は、Bi 欠損と O 欠損が共存する際に生じる欠陥準位であることが知られている。したがって、不純物をドーピングすることなく p 型伝導が発現した理由としては、 E_F 近傍の浅い欠陥準位がアクセプターとして働いたことに起因すると考えられる。

以上より本実習では、浅い内殻準位の高分解能光電子分光測定によって、ホール測定の結果に加え、更なる Bi_2WO_6 の p 型伝導性を示す根拠を得ることができた。

また、今回の実習では PF ビームライン内の見学ツアーも行われた。ここでは普段は見ることはできない PF リング内に立ち入り、放射光を供給するための装置の仕組みや、建物全体の構造について知ることができた。さらに、現 BL-11 サイトに、軟 X 線と硬 X 線の二つのブランチを持つビームラインの整備計画の説明もあり、2 ビーム利用モードの設計について知ることができた。