

## 酸化物半導体 ZnO の軟 X 線角度分解光電子分光

東大理<sup>A</sup>, 東大新領域<sup>B</sup>, 原子力機構/SPring-8<sup>C</sup>, 京産大<sup>D</sup>, 東大工<sup>E</sup>, 阪大産研<sup>F</sup>

小林正起<sup>A,†</sup>, 宋敬錫<sup>A</sup>, 片岡隆史<sup>B</sup>, 坂本勇太<sup>B</sup>, 藤森淳<sup>A,B</sup>, 大河内拓雄<sup>C</sup>, 竹田幸治<sup>C</sup>,  
岡根哲夫<sup>C</sup>, 斎藤祐児<sup>C</sup>, 山上浩志<sup>C,D</sup>, 山原弘靖<sup>E</sup>, 佐伯洋昌<sup>F</sup>, 川合知二<sup>F</sup>, 田畑仁<sup>E</sup>

ZnO は六方晶 wurzite 構造を持つ  $n$  型半導体であり, バンドギャップが $\sim 3.4$  eV と大きいことと大きな励起子の束縛エネルギー $\sim 60$  meV のために, 光学デバイスに関して最も有望な酸化物半導体の一つとして注目を集め, 盛んに研究されている[1]. その製作コストの安価なことと環境への安全性もまた現実的な応用に有利な点である.

これまでに ZnO の電子構造に関しては, 表面敏感な低エネルギー光 ( $h\nu < 150$  eV) を用いた光電子分光で表面の状態が調べられてきた[2]. 近年, バルクの電子状態を調べることに限らず, 検出長の大きな硬 X 線や軟 X 線といった高エネルギーの光を用いた光電子分光測定の実用性が指摘されている[3,4]. 我々は, ZnO の物性を電子構造の観点から理解することを目的とし, ZnO 薄膜の電子構造をバルク敏感な軟 X 線角度分解光電子分光により調べた.

図 1 に $\Gamma$ -M 方向に沿ったカットの角度分解光電子分光スペクトルの二回微分プロットを示す.  $\Gamma$  点及び M 点で折り返す明瞭なバンド分散が見られ, バルクのブリルアンゾーンを反映したバンド分散であることを示している. 実験により得られたバンド分散は, バンド幅を除いて, 第一原理バンド計算の結果と定性的に一致した. これらの定量的な違いは半導体内における多体効果 (電子相関) に起因すると考え, ARPES データと計算結果の比較から ZnO の自己エネルギーを見積もった. これらの結果は, 半導体薄膜において軟 X 線角度分解光電子分光によってバンド構造を実験的に決定できることを意味している.

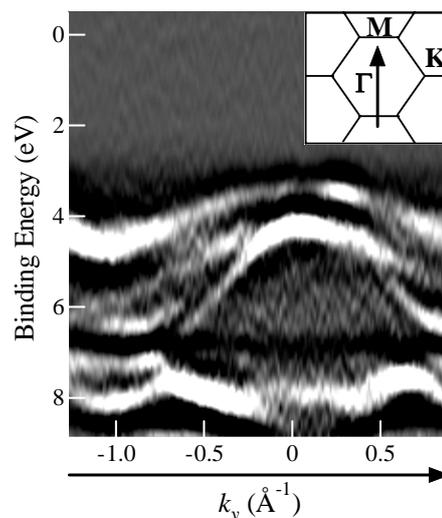


図 1. ZnO 薄膜の角度分解光電子分光スペクトル. 挿入図はブリルアンゾーンの  $k_x$ - $k_y$  面でのカットを表し, 矢印はスペクトルの  $k_y$  軸方向を示す.

### References:

- [1] A. Tsukazaki *et al.*, Nat. Mater. **4**, 42 (2005).
- [2] R. T. Girard *et al.*, Surf. Sci. **373**, 409 (2004).
- [3] A. Sekiyama *et al.*, Nature **403**, 369 (2000).
- [4] A. Onsten *et al.*, Phys. Rev. B **76**, 115127 (2007).

<sup>†</sup> 現所属: 東京大学大学院工学系研究科 応用化学専攻