

高感度紫外光電子分光、硬 X 線光電子分光、低エネルギー逆光電子分光 を用いたアモルファス In-Ga-Zn-O 薄膜の状態密度の解析

Density of States Analysis of an Amorphous In-Ga-Zn-O Thin Film studied via High-Sensitivity Ultraviolet, Hard X-ray, and Low-Energy Inverse Photoemission Spectroscopies

千葉大院融合理工¹, 出光興産², 高輝度光科学研究センター³, ユニヴァーシティ・カレッジ・
ロンドン⁴, ケンブリッジ大⁵, 千葉大院工⁶, 千葉大 MCRC⁷, 千葉大先進⁸

○(M2) 中澤 遼太郎¹, 松崎 厚志¹, 清水 康平¹, 川嶋 絵美², 安野 聡³, Mojtaba Adbi-Jalebi⁴,
Samuel D. Stranks⁵, 吉田 弘幸^{6,7}, 田中 有弥^{6,8}, 東海林 弘², 石井 久夫^{6,7,8}

GSSE Chiba Univ.¹, Idemitsu Kosan Co. Ltd.², Japan Synchrotron Radiation Res. Inst.³, Univ.
College London⁴, Univ. of Cambridge⁵, GSE Chiba Univ.¹, MCRC Chiba Univ.⁵, CFS Chiba

Univ.⁶ ○(M2) Nakazawa Ryotaro¹, Matsuzaki Atsushi¹, Shimizu Kohei¹, Kawashima Emi²,
Yasuno Satoshi⁵, Mojtaba Adbi-Jalebi³, Samuel D. Stranks⁴, Yoshida Hiroyuki¹, Tanaka Yuya^{1,7},
Tokairin Hiroshi², Ishii Hisao^{1,6,7}

r.nakazawa19@chiba-u.jp

【序論】アモルファス In-Ga-Zn-O (a-IGZO) は、主にディスプレイを駆動する薄膜トランジスタ (TFT) として応用されている。ところが、TFT に光照射ストレスがかかると、価電子帯 (VB) と伝導帯間に存在する“ギャップ内準位”が動作を不安定化させてしまう課題があり、ギャップ内準位の状態密度 (DOS) や起源の解明が不可欠である。これまで占有ギャップ内準位の DOS は硬 X 線光電子分光法 (HAX-PES) により活発に研究されてきたが、DOS の検出限界が高く、高エネルギー励起光によりフェルミ準位近傍に準安定な局在準位が形成される問題があった。さらにこの光エネルギー領域では、重金属の s 軌道の光イオン化断面積が高く、O 2p などの軽元素の検出には不向きであった。a-IGZO の DOS を正しく理解するには、光源による試料損傷が低く、軽元素に対する光イオン化断面積の高い紫外電子分光測定も必要となる。我々はこれまでに、独自に開発した高感度紫外光電子分光法 (HS-UPS) を a-IGZO に適用して得られたスペクトルを終状態固定法 (CFS) で解析することで占有ギャップ内準位の DOS を定量的に[1]、始状態固定法 (CIS) で解析することで波動関数の性質を定性的に求められることを報告してきた[2]。本研究では、a-IGZO 薄膜に Spring-8 (BL46XU) で HAX-PES 測定を行い、CFS・CIS スペクトルと比較してギャップ内準位の DOS や起源について更なる解析を試みた。さらに、高分解能、低ダメージ測定が可能な低エネルギー逆光電子分光 (LEIPS) [3]を用いて空準位に関する解析も行った。

【結果】図 1 に測定した HAX-PES スペクトルと CFS スペクトルを示す。CFS スペクトルは Fitting からテール準位と二つの局在準位 (図中の局在準位 1 と 2) に区別することが出来た。CFS と HAX-PES のテール準位の指数関数減衰パラメータ E_0 はそれぞれ 206 meV, 266 meV で大まかに一致した。また、2 eV 付近の局在準位についてもエネルギー位置は大まかに一致した。HAX-PES スペクトルはフェルミ準位近傍に先行研究に類似した準安定な局在準位が観測され、光源による試料損傷の可能性がある。VB に近いギャップ内準位に関しては光イオン化断面積による強度の違いが顕著にみられた。次に、図 2 に LEIPS スペクトルを示す。LEIPS 測定では低エネルギー電子を用いていることから O 軌道が強く観測されと考えられ、計算で求められている O 軌道の部分状態密度に定性的に一致した[4]。以上の結果から、HS-UPS や LEIPS は光照射ストレスによる損傷を抑えて、a-IGZO の DOS を得られることがわかった。本講演では、CIS 解析やギャップ内準位の起源についても議論する予定である。

[1] R. Nakazawa *et al.*, Appl. Phys. Express 14, 071004 (2021)

[2] 中澤遼太郎 *et al.*, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 (2020)

[3] H. Yoshida, Chem. Phys. Lett. 539-540, 180 (2012)

[4] H. Li *et al.*, Phys. Rev. Mater. 2, 074601 (2018)

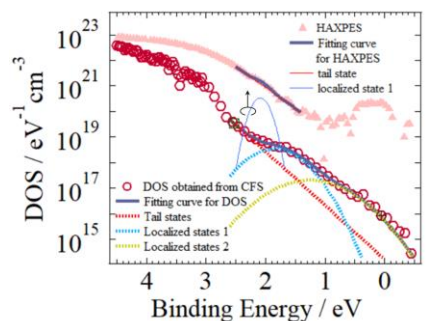


Fig.1 Comparison between CFS and HAX-PES spectra.

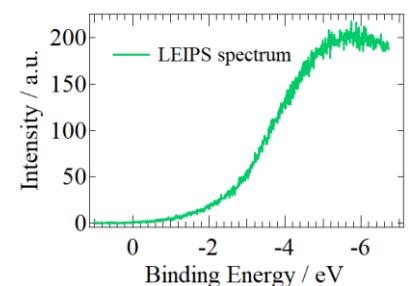


Fig.2 LEIPS spectrum of a-IGZO film.