高感度紫外光電子分光による無機半導体のギャップ内準位の評価

Evaluation of In-gap states of Inorganic Semiconductors by High Sensitivity Ultraviolet

Photoemission Spectroscopy 千葉大院融合理工¹,千葉大先進², 千葉大 MCRC³ ○(M1)中澤 遼太郎¹, 清水 康平¹, 田中 有弥^{1,2}, 石井 久夫^{1,2,3} GSSE Chiba Univ.¹, CFS Chiba Univ.^{1,2}, MCRC Chiba Univ.^{1,2,3}

o(M1)Ryotaro Nakazawa¹, Kohei Shimizu¹, Yuya Tanaka^{1,2}, Hisao Ishii^{1,2,3}

E-mail: r.nakazawa19@chiba-u.jp

【序論】トランジスタやダイオードなど半導体デバイスは、従来から用いられてきた Si に加え、近年で はアモルファス In-Ga-Zn-O (a-IGZO) や GaN などの多くの無機半導体を主材料にして活発に製作されて いる。これらの半導体デバイスでは半導体のエネルギーギャップ内に存在するギャップ内準位がキャリ アをトラップすることに起因してデバイス性能が低下することがしばしば報告されている。そのため半 導体デバイスの性能を改善していくには、ギャップ内準位を正確に観測し制御していくことが求められ

ている。一般にギャップ内準位の状態密度 (DOS) は、指数関数 $(D(E) \propto \exp(-E/E_0))$ で表されるテール準位や、エネルギー的 にガウス関数で表される局在準位の形で存在していると考えられ ているが、その観測は容易ではない。現状では、吸収スペクトル のアーバックテール ($\alpha(E) \propto \exp(-E/E_{\mu})$) から求まるアーバッ クエナジー (E_u) を代用したり電気測定を行ったりしてギャップ 内準位を評価しているが、前者は結合 DOS を反映しておりギャッ プ内準位の DOS とは異なるため、後者は素子モデルに依存してし まう間接的な手法であるため、いずれも正確な評価を行えていな い。ほかにギャップ内準位を測定する手法として硬 X 線光電子分 光 (HAXPES) が挙げられるが、価電子帯の大きい構造からのテー ル構造やゴーストシグナルが重なり、ギャップ内準位を詳細に調 べることが容易でない。そこで我々は、ギャップ内準位のみを励 起できる低エネルギーの励起光を用い、かつ、励起光エネルギー hvを掃引しながら測定する高感度紫外光電子分光(HS-UPS)を用 い、それらを同一の運動エネルギー点を結ぶ Constant Final State 法 (CFS)によって規格化し、占有ギャップ内準位を直接的に観測しよ うと試みている。以前の報告で、これを a-IGZO に適応し、占有ギ ャップ内準位を正確に評価できることを報告した[1]。この手法は 無機・有機半導体の材料開発に有用であると期待できる。そこで、 この手法の適応範囲をさらに拡げて、Si、GaN、ZnOの占有ギャッ プ内準位の直接観測を試みた。

【実験】Si はフッ化水素で表面処理した後、ZnO(0001) は大気中で 1200℃のアニール後、 GaN は i, p 型のものをそれぞれ HS-UPS で測定した。

【結果】ZnO、p-GaN、SiのHS-UPS、HeI、CFS スペクトルをそ れぞれ Fig.1-3 に示した。CFS スペクトルは価電子帯上端付近から フェルミエネルギー近傍まで観測され、観測されたレンジは ZnO



で約3桁、p-GaN、Siで約6桁に及んだ。いずれの試料でも、光源として広く用いられている Hel によるスペクトルではノイズに埋もれてしまう領域から、ギャップ内準位による明確なスペクトルを得ることに成功した。本講演では、それぞれのスペクトルの詳細な解釈について議論する。 [1] 中澤遼太郎 *et al.*, 65th JSAP spring meeting (2019).