

X線光電子分光による表面、界面、バルク電子状態計測

P19

Surface, interface, and bulk electronic states probed by X-ray photoemission

上田 茂典 UEDA.Shigenori@nims.go.jp

物質・材料研究機構

はじめに

光電子分光法は、固体の電子状態や化学結合状態を調べるためのツールとして有効である。特に、近年の放射光硬 X 線 (数 keV) を励起源として用いた硬 X 線光電子分光(HAXPES)は、汎用的な実験室光源である Al-K α (1486.7 eV)や Mg-K α (1253.6 eV)に比べて検出深度が深く、表面の影響が少ない電子状態測定が可能である[1]。この深い検出深度を活かして、HAXPESを用いた金属、半導体、磁性体、強相関物質、触媒材料、多層膜構造の電子状態測定や、デバイス構造に対する電圧印加オペランド測定が行われている[1,2]。また、0.1T の磁場中測定も行われるようになってきている[3]。硬 X 線領域では、X 線の偏光状態を、ダイヤモンド移相子を用いて制御できることもあり、価電子帯領域での軌道選択的な電子状態測定や内殻領域での磁気円二色性分光も可能となっている[3]。このように HAXPES 測定は、多様な材料系に対応可能で、化学結合状態のみに限らず磁気状態や価電子帯の詳細な電子状態を高分解能(0.3 eV 以下)で実施することができる。本講演では、深い検出深度を利用した表面、界面、バルク電子状態の HAXPES 測定例について紹介する。

HAXPES による電子状態の深さ依存性計測

一般的に X 線の固体への侵入長は、同じエネルギーを持つ光電子の固体中での平均自由行程に比べて3桁以上大きい。しかしながら、全反射臨界角近傍において、X 線の侵入長は劇的に短くなる。この現象を利用することで、光電子の実効的な脱出深さを制御することができる[2]。図 1(a)は、X 線の全反射臨界角近傍で測定した n 型のバルク GaN ウェハーの価電子帯スペクトルから得られた表面バンド曲がりの極性依存性である。GaN の結晶構造は、c 軸方向に Ga 層と N 層が相互に積層するウルツ鉱型であり、化学的、物理的性質に極性依存性を示すことが知られている。図 1(a)から明らかなように、Ga 面と N 面では表面バンド曲がりに違いが見られる。また、図 1(b),(c)は、Ga 3s、N 1s 内殻ピークと比較した結果である。価電子帯の上端部から見積もられたシフトと内殻のピークシフトが良い一致を示していることが分かる。半導体の表面バンド曲がりは、例えば光電子の脱出角依存性測定、あるいは励起光エネルギー依存性からも得ることができるが、本手法を用いることによって、殆ど実験配置を変えることなく、固定した励起光エネルギーで、脱出角依存性測定の 1/10 の測定時間で高品位な実験データを与えることができる。

多層構造に対しても本手法を応用することができ、界面近傍の電子状態の検出も可能である。また、強相関電子系に見られる表面とバルク電子状態を分離することも可能である。このように、表面、界面、バルク電子状態を得ることができる HAXPES 測定は、基礎学術研究からデバイス構造を持つ系に対する応用研究までをカバーできる非常に有効な手法であり、産学官連携研究に威力を発揮するものと期待される。

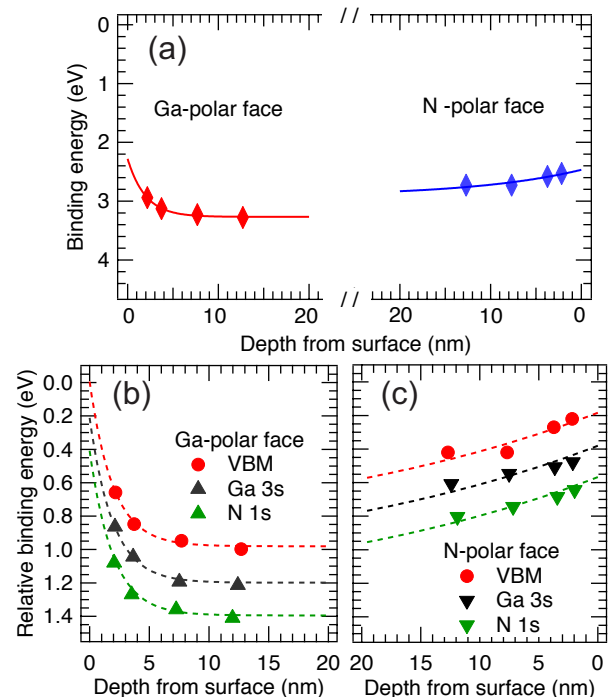


図 1(a) GaN 価電子帯スペクトルから得られた表面バンド曲がりの極性依存性。(b) Ga 面および(c) N 面における価電子帯のシフトと Ga 3s および N 1s 内殻ピークシフトの比較。

【関連プロジェクト】

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>電子材料拠点

【参考文献】

- [1] S. Ueda, J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom. **190** (2013) 235.
- [2] S. Ueda, Appl. Phys. Express **11** (2018) 105701.
- [3] S. Ueda et al., Sci. Tech. Adv. Mater. **20** (2019) 796.