革新的技術で切り拓く フルオート多機能走査操作型XPS装置の分析事例

橋本真希*1・戸津美矢子*1・寺島雅弘*1・飯田真一*1・宮山卓也*1

Analysis Examples Using Fully Automated, Multi-Function Scanning XPS **Equipment Pioneered by Innovative Technology**

Maki HASHIMOTO^{*1}, Miyako TOZU^{*1}, Masahiro TERASHIMA^{*1}, Shin-ichi IIDA^{*1} and Takuya MIYAYAMA^{*1}

*1Analytical Solutions Laboratory Product Strategy Dept, ULVAC-PHI, Inc., 2500 Hagisono, Chigasaki, Kanagawa 253-8522, Japan

In recent years, with the advancement of high-performance materials, the structures of devices combining these materials have become increasingly complex. Particularly, the analysis of material interfaces, which play a critical role in device functionality, has gained significant importance. X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), as a surface analysis technique, has become indispensable. XPS enables precise measurement of the chemical states and elemental concentrations of material surfaces and is widely utilized in the development of battery and semiconductor materials. This article introduces the features and applications of the fully automated, multifunctional XPS system "PHI GENESIS".

はじめに 1.

近年、材料の高機能化が進む中で、それらを組み合 わせたデバイスの構造がますます複雑化している。こ れに伴い、特に機能に深く関わる材料界面の解析が一 層重要視されるようになってきている。このような界 面解析に用いられる代表的な表面分析手法の一つが, X線光電子分光法(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) である。XPSは, 表面 5~10 nmの深さに存在 する元素の化学状態や濃度を調べることが可能で、表 面分析技術の中でも特に広く利用されている。

XPSはリチウムを含むほぼすべての元素の化学状態 や表面組成を分析できることから、電池材料や半導体 材料をはじめとする先端機能材料の開発において欠か せない存在となっている。近年のXPS装置は、全自動 化や高感度化、さらには微小領域の分析において飛躍 的な進化を遂げている。また、複雑な材料界面を高精 度かつ迅速に分析するため、同一試料を、多様な表面 分析手法を組み合わせた解析が可能な装置への需要も 高まってきている。これらを実現する装置は、材料開 発をより強力に支援するツールとして大きな期待を集 めている。

こうしたニーズに応えるため、当社は、高度なXPS 分析機能に加え、豊富な拡張性を備えた装置「PHI

*1 アルバック・ファイ(株) 製品戦略部

GENESIS」を開発、リリースした。この装置は、次 に示す多様な表面電子分光分析を,同一装置内で,か つ同一測定点で実施できる点が大きな特徴である。

- (1) 硬X線光電子分光 (Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy, HAXPES)
- (2) 紫外光電子分光 (Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy, UPS)
- (3) 低エネルギー逆光電子分光 (Low Energy Inverse Photoelectron Spectroscopy, LEIPS)
- (4) オージェ電子分光 (Auger Electron Spectroscopy, AES)
- (5) 反射電子エネルギー損失分光 (Reflection Electron Energy Loss Spectroscopy, REELS)

さらには、以下の拡張機能を備えることで、複雑な 材料の高度な解析を可能にする。

- (6-i) クラスターイオンを用いた低損傷深さ方向分析
- (6-ii) 試料の加熱・冷却
- (6-iii) チャンバ内での電圧印加
- (6-iv) 大気非曝露試料搬送システム

Fig.1に「PHI GENESIS」の外観を示す。当社のXPS 製品には、走査型X線源や高感度インプットレンズを搭 載しており、微小領域の化学状態分析を高い定量精度 で実施することが可能である。これにより、多くのユ ーザーから高い評価を得ている。本稿では、全自動か つ多機能な走査型X線電子分光装置「PHI GENESIS」 に採用された新技術を紹介するとともに、その多機能 を活かした分析事例についても詳述する。

(〒253-8522 神奈川県茅ヶ崎市萩園2500)



2. 「PHI GENESIS」の特徴

2.1 走査型マイクロフォーカスXPS

「PHI GENESIS」に搭載されたX線源は、回転楕円 ミラー型モノクロメータを用いて単色化したAl Kα線 (1486.6 eV)を、最小径5 μmまで微小化することが 可能で、試料表面上を最大1.4×1.4 mmの範囲で走査 可能である。XPS測定時には、X線励起の二次電子像 (Scanning X-ray Image, SXI)を利用して、試料上 の測定位置を正確に決定することが可能である。Fig.2 に示すように、従来機「PHI VersaProbe4」(最小径 7.5 μm)と比較して、「PHI GENESIS」におけるSXI 像の空間分解能は格段に向上している。

また、X線源としては、標準のAl Ka線に加え、Cr Ka線(5414.8 eV)も走査型XPSとして利用可能である (Fig.3)。これらのX線は、可動式のAl/Crデュアルア ノードに電子を照射することで発生する。生成された X線は、それぞれ専用の回転楕円ミラー型モノクロメ ータによって試料表面の微小点に正確に照射される。 また、Al Ka線とCr Ka線には焦点を共有する独立した モノクロメータを採用しており、照射点の一致と最高 の性能を実現している。5000 eV以上のX線エネルギー を用いるHAXPES測定は、これまでSPring-8に代表さ れる大型のシンクロトロン施設のみで可能だった。し かし、Lab型HAXPES装置の開発により、情報深度の 深いXPS分析を実験室内で実現できるようになった¹⁾。

Cr Ka線を用いたHAXPESの情報深さは, Al Ka線の約3倍に達する。

2.2 マルチテクニックXPSを実現する新型プラット フォーム

「PHI GENESIS」は、XPSとして最大のパフォーマ



Fig.2 Schematic diagram of the scanning X-ray generation point scanning and irradiation point scanning of "PHI GENESIS" (above) and comparison of X-ray excited secondary electron images (SXI: Scanning X-ray Image) of our conventional "VersaProbe4" (spatial resolution 10 μ m) and the new device "PHI GENESIS" (spatial resolution 5 μ m) (below).



ンスを発揮するとともに、多くの分析機能を一台に集 約できることを特徴としている。Fig.4に、解説した



and detectors capture the analysis point of the sample. Directly above the sample is the electron spectrometer, which is equipped with a hemispherical analyzer and an input lens that collects electrons emitted from the sample. Black text indicates standard specifications, gray indicates options.



(right). When a sample up to 80 mm × 80 mm is placed in the sample holder and placed in the sample introduction chamber, the sample holder is automatically evacuated and then transported to the analysis position by a robot arm. The sample holder is also fully automatically replaced with the sample holder in the parking lot inside the ultra-high vacuum device.

すべての機能を搭載したときの「PHI GENESIS」内 部の概略図を示す。すべてのデバイス(プローブと検 出器)が試料の一点に向かっていることが示されてい る。試料の直上は電子分光器で、半球形アナライザと 試料から放出された電子を集めるインプットレンズを 備えている。黒字は標準仕様、灰色の字はオプション である。

加えて、UPS用の紫外光源、LEIPS用の低速電子銃

と光検出器, REELS用の電子銃についても同時搭載 が可能である。UPSではイオン化ポテンシャルや仕事 関数, LEIPSでは電子親和力, REELSでは原子の結合 状態やバンドギャップやの情報が得られる。

AESでは、「PHI GENESIS」が提供するマイクロフ ォーカスXPS(空間分解能 5 μ m)よりもさらに高い 空間分解能(約100 nm)を実現し、より微細な領域 の表面分析を可能にする。 試料表面のクリーニングや深さ方向分析のためには, Ar イオン銃が利用できる。加えて, Arガスクラスタ ーイオン銃は, 低損傷での深さ方向分析を可能にし, 有機材料の解析には必須である。

このように「PHI GENESIS」は、同一装置内に多様な分析手法を搭載することが可能で、特に新規材料開発の分野で大きな効果を発揮する。

Fig.5は、各種試料ホルダーと試料搬送システムを 模式的に示したものである。試料を試料ホルダーにセ ットして試料導入室に置くと、自動真空排気後にロボ ットアームによって試料ホルダーが分析位置に搬送さ れる。超高真空装置内のパーキングにある試料ホルダ ーとの入れ替えも、全自動で行われる。

試料の深さ方向における元素の濃度分布を非破壊で 解析するための手法として有効な角度分解測定は、モ ーター駆動による試料ステージを用いて、試料法線方 向を0度から90度の範囲で傾斜角を変えることによっ て自動的に実施できる。これにより、非破壊で高精度 な深さ方向情報の取得を可能にする。

また, 試料は, 最大80 mm×80 mmの大型試料の 導入が可能であるほか, 加熱・冷却機構の搭載や, 大 気非曝露試料搬送機構など, 多様なオプションの追加 が可能である。これにより, ユーザーの目的に応じた カスタマイズや機能拡張が容易に行え, 幅広い研究ニ ーズに対応できる設計となっている。

3. 応用事例

本章では, 電池, 半導体, そして有機ELといった代 表的な分野における応用例を紹介する。

3.1 電池材料

近年注目を集めている全固体電池(All-Solid-State Batteries, ASSB)は、従来の液体電解質を使用する リチウムイオン電池に比べ、エネルギー密度、安全性、 電池寿命といった特性で優位性を持つことから、電気 自動車用電池やセンサー用電池など、幅広い分野での 応用が期待されている。しかし、さらなる実用化に向 けては、固体電解質と電極の界面で発生する内部抵抗 の高さが大きな課題となっており、これがLiイオンの 円滑な輸送を制限している。

電池は,様々な材料を組み合わせて機能を発揮する デバイスである。正極,電解質,負極,集電体の適切 な組み合わせと精密な界面の制御により,高性能を発 揮させる必要がある。このため,電池の開発において は,特に界面の組成や化学状態を理解する必要がある。

本実験では、負極にリチウム金属、固体電解質にオ キシ窒化リン酸リチウム(LiPON)、正極にコバルト 酸リチウム(LiCoO₂)から構成される薄膜型全固体電 池を使用した(Fig.6)。この試料では、固体電解質と 正極の界面に内部抵抗が発生していることが確認され ている。そのため、今回の解析には、負極のリチウム 金属を成膜する前の試料を使用した。本節で用いた試 料のTable 1にまとめた。

本稿では、「PHI GENESIS」を用いて界面の組成や 化学状態を解析した事例を紹介する。さらに、装置内 の加熱オプションを活用し、成膜時の温度上昇をシミ ュレーションすることで、成膜温度が界面に与える影 響を評価した結果についても述べる。

3.1.1 AESによる断面観察

まず, AESを用いてLiPON/LiCoO2断面観察を行った。



of interface internal i



Section	Measurement	Details of Sample
3.1.1	XPS Depth Profiling	LiPON (2 μm)/ LiCoO₂ (5.6 μm)/Pt/Ti/Glass
3.1.2	AES Mapping	Cross-section of LiPON (2 µm)/LiCoO₂ (5.6 µm)/ Pt/Ti/Glass
3.1.3	In-situ Sample Heating in XPS Chamber	LiPON (100 nm)/ LiCoO2 (5.6 µm)/Pt/Ti/Glass

大気への曝露を防ぐため、真空内で集束イオンビーム (Focused Ion Beam, FIB)加工を行い²⁾,その後、大気 非曝露試料搬送システムを利用して、「PHI GENESIS」 に試料を導入した。Fig.7には、左から順にFIB加工の 模式図、SEM像に重ね合わせたリチウムの化学状態 マップ、Li KVVスペクトルの結果を示す。化学状態 マップはそれぞれ、スペクトル上の42 eV(LiPON)お よび31 eV(LiCoO₂)の強度分布を反映したものであ る。得られた化学状態マップでは、LiPON及びLiCoO₂ におけるリチウムの化学状態の違いが明瞭に反映され ており、化学状態の違いを可視化することに初めて成 功した³⁾。

3.1.2 XPSによる深さ方向分析⁴⁾

Fig.8に、薄膜型全固体電池試料のXPSによる深さ方 向分析の結果を示す。ここでは着目しているLiPON/ LiCoO₂界面近傍のみ表示した。横軸は、膜厚2.2 μ mの LiPON層及び、膜厚5.7 μ mのLiCoO₂層をスパッタす るのに要した時間から換算した。XPSデプスプロファ イルから、深さ界面のLiPON側では酸素の富化(深さ 2.0 μ m)が、またLiCoO₂側では酸素の欠乏(深さ2.2~ 3.4 μ m)が観測された。この現象は、LiPON層の膜厚 を薄くすると観察されなかった。





3.1.3 装置内加熱によるその場測定4)

次に、成膜の初期段階を評価するために、LiPONの 膜厚を100 nmとし、LiPONとLiCoO2の間で起きた反 応を詳細に調べた。Fig.9に加熱前の100 nm厚LiPON/ LiCoO2表面のCo 2p32及びO 1sのXPSスペクトルを示 す。LiPONの化学状態に関しては、これまでに数多く の報告があり、LiPONからのO 1sスペクトルは、P= O(非架橋酸素),Li⁺-O-P(架橋酸素)及びP-O-P(架 橋酸素)の三つの成分に帰属される。LiPONは100 nmの膜厚があるにもかかわらず、数%のコバルトが 検出された。これは、LiCoO2の表面に100 nm程度の 凹凸があるためである。また、Co 2p32スペクトルに は、Co³⁺由来のサテライトが辛うじて観察された。こ れは、100 nmのLiPON成膜後もまだ三価の状態を維 持していることを示している。

次に、100 nm厚LiPON/LiCoO₂をXPSチャンバ内で 200 ℃の温度で、2時間の加熱をおこなった。この加 熱条件は、厚さ2.2 µmのLiPON成膜時に上昇した基板 温度を模擬的に再現したものである。試料加熱後、室 温に戻して再度、XPS測定を行った。その結果、三価 のCoのサテライトが消失し、金属コバルトが出現し た。同様の加熱(200 ℃×2時間)をLiCoO₂に対して 行ったところ、Co³⁺のサテライトは消失せず、Co⁰⁺ (Metal Co)も出現しなかった。これは、LiPONと LiCoO₂の間で何らかの反応が起きたことを示している。

さらに, Table 2に加熱前後のXPSスペクトルの結 果に基づくLi, N, P, O, Coの定量結果(at %)を 示す。加熱前後でN/P比は共に0.49で変化がなかった のに対し, O/P比は加熱前の3.5から加熱後の3.8へ増 加していた。これは, LiPONが酸素を取り込んだこと Table 2Atomic concentration of 100 nm-thick LiPON/LiCoO2 surface before and after heating.

	Atomic concentration (%)					
	Li	Р	Ν	0	Co	
Before heating	24	15	7.3	52	1.8	
After heating	24	14	6.9	53	2.8	

を示している。さらに, Fig.9の加熱後のP-O-Pの減 少と, P=Oの増加を考慮すると, 一部の架橋酸素が, 非架橋酸素に変換され, そのために酸素が必要になっ たのではないかと考えられる。また, 酸素は, LiCoO² から取り込んだと考えると, コバルトの還元が起こっ たこととも矛盾がなく, Fig.8で観察された界面での 酸素の挙動も説明がつく。

以上, XPS解析から, 成膜中の温度上昇により, LiPONの構造が変質し, LiPONがLiCoO₂から酸素を 取り込んだことで, コバルトは三価から0価へと還元 したことが明らかとなった。この固体電解質/正極界 面で起きた副反応は, 可逆的なリチウムイオンの移動 を阻害する。これが界面抵抗の主要因の一つではない かと推測される。

3.2 半導体材料(アルミニウム・シリコン酸化物積 層膜)

シリコン酸化膜はトランジスタのゲートで電子の流 れを制御し、スイッチング速度の向上や消費電力の低 減に寄与します。また、デバイスを外部環境から保護 する役割を果たします。特にSiO₂は優れた絶縁特性と 保護性能を持ち、その品質向上にはHAXPESや角度分 解XPSを用いた非破壊分析が重要です。



Fig.9 Schematic diagram of heating of thin-film all-solid-state lithium battery model sample in the device, and XPS chemical state spectra of Co 2p, O 1s, N 1s, P 2p, and Li 1s elements before and after heating. XPS spectrum of LiCoO₂ is also shown for reference.

30

3.2.1 HAXPESと角度分解を併用した半導体薄膜評価

積層構造を有する試料では、各層が想定通りの厚さ で積層されているか、また、層間で拡散や偏析が生じ ていないかなどを確認するため、層ごとの詳細な分析 が重要となる。XPSではイオンビームによるスパッタ リングを活用することで、XPSの情報深さを超えた領 域の分析が可能となる。しかし、単原子イオンビーム よるスパッタリングでは、試料にダメージを与えてし まうため、試料本来の状態を正確に分析することが難 しい。この課題に対処するため、Cr Kα線を用いてよ り深い領域の非破壊解析を試みた。

薄膜や酸化被膜などごく表面の深さ方向の組成分布 を調べる場合には、サンプルと検出器の角度(取り出 し角度: Take-off angle)を変えることで、得られるス ペクトルの情報深さを変えることが出来る。この角度 分解測定とHAXPESを組み合わせることで、XPSで は得られないより深い領域の濃度分布を非破壊で取得 することが可能になる(Fig.10)。

角度分解測定とHAXPESを組み合わせた測定を,Si 基板上にAl₂O₃を約15 nm積層した試料で実施した。こ の試料をアニールすると,界面にSiO₂のパッシベーシ ョン層(保護層)が形成される。また,アニール温度 を変化させることで,パッシベーション層の厚さを制 御することができる。表層のAl₂O₃の厚さは約15 nmで



Al Kα線では界面および基板のSiは検出されない。ま たスパッタを行うと、還元が起こり、化学状態解析が 難しくなる。そこで、Cr Kα線を用いてスパッタリン グを行わずに界面の化学状態を評価した。

Cr Kα線では, Si 2pの他にSi 1sを測定することが 可能である。Al Kα線で測定したSi 2pの運動エネルギ ーは約1380 eV, Cr Kα線で測定したSi 1sの運動エネ ルギーは約3573 eVであることから, Si 2pよりSi 1sの 方が検出深さは深くなる。そのため,今回はSi 1sを 使用することでスパッタを行うことなく,埋もれた界 面の測定が可能となる。

Fig.11にアニールしていない試料と500 ℃でアニー





ルした試料を、Cr Kα線を用いてSi 1sを取得し、取り 出し角度90°,45°,30°で角度分解を行った結果を 規格化表示で示す。SiとSiO2の比率を比較すると、取 り出し角度が浅い30°ではパッシベーション層由来の SiO2の比率が高く、取り出し角度が大きい90°では基 板のSiの比率が高かった。 アニールしていない試料 と500 ℃でアニールした試料を比較すると、500 ℃で アニールした方が各角度でSiO2の量が多いことが分か った。これは、アニールすることでSiO2の厚さが厚く なったことを示している。500 ℃でアニールした試料 について、角度分解測定の結果から膜厚を算出したと ころ, Al₂O₃は14 nm, SiO₂は3.1 nmであることが判っ た。本試料の断面を透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope, TEM) で観察した結果をFig.12 に示す。TEM観察結果から算出した膜厚はそれぞれ, Al₂O₃が14 nm, SiO₂が3.2 nmであった。これらの結果 から、角度分解測定による膜厚の算出が精度よくでき ていた。

3.3 半導体材料 (IGZO膜:インジウムガリウム亜 鉛酸化物)

インジウム(In) ガリウム(Ga) 亜鉛(Zn) 酸素(O) (IGZO) 膜は,その透明性やフレキシビリティ,高 いキャリア移動度から,次世代薄膜トランジスタ (TFT)の材料として注目されているが,実用化に 向けてはキャリア移動度の維持や信頼性の確保が大き な課題となっている。これまではXPSを用いた酸素欠 損量とキャリア密度の関連からプロセス制御を最適化 するアプローチが試みられたが,材料の電子構造を直 接評価した例はほとんどない。バンドギャップの広さ は、デバイス性能に重要な影響を与える。広いバンド ギャップにより,絶縁耐圧が高くなり,リーク電流が 減少し,消費電力が低減する。また,可視光を透過し,



ディスプレイやタッチパネルに適しているだけでなく, 熱安定性が向上し,鮮明な画像表示と長寿命を可能に する。広いバンドギャップはデバイスの性能を大きく 向上させ,その調整はIn,Ga,Znなどの組成比を変 更することで可能である。本測定では、300 mmウェ ーハ面内に組成勾配を持たせたIGZO膜を用いて電子 構造の相関について評価した結果を紹介する。300 mmシリコン基板上にIn₂O₃,Ga₂O₃およびZnOターゲ ットを用いてRFマグネトロンスパッタリングを行い, 膜厚100 nmのIGZO膜を成膜した。これにより,In, Ga,Znの組成勾配が生成される。(Fig.13)今回は,成 膜した面内のA,BおよびCの三箇所についてREELS 測定を行った。

3.3.1 REELSおよびエリプソメータによるバンドギャ ップ評価

IGZO 膜表面のREELSスペクトルをFig.14に示す。 バンドギャップは、エネルギー損失の立ち上がりのエ ネルギー値に相当する。バンドギャップはPosition A (3.9 eV), Position B (3.6 eV) およびPosition C (3.3 eV)の順に小さくなっていくことが分かった。

次に、表面をAr⁺スパッタリングした後のREELSス ペクトルをFig.15に示す。Table 3の結果から、膜中の バンドギャップはPosition A (3.3 eV), Position B (3.0 eV) およびPosition C (2.8 eV)の順に小さくなって いた。これらの値は、エリプソメータ (IGZO膜の膜 厚100 nm深さ全体を計測)で得られたバンドギャッ プの値と非常に良い相関を示し、信頼性の高い測定が 行えていることを示している。さらに、膜中のバンド ギャップは最表面のそれよりも小さい値となり、表面 と膜中では組成、化学状態、電気的性質に違いが生じ ることが示された。

材料開発においては、表面と膜中の両方を正確に把 握することが重要である。このように、REELSを用





Table 3Bandgap results (eV) on the top surface and in the film.(compared with bandgap measured by ellipsometer.)

Bandgap (eV)							
	REELS (Top surface)	REELS (in the film)	Ellipsometer (entire thin film)				
Position A	3.9	3.3	3.4				
Position B	3.6	3.0	3.1				
Position C	3.3	2.8	2.9				

いることで最表面と膜中のバンドギャップの違いを明 瞭に識別できることが確認された。

3.4 有機EL用材料

有機エレクトロルミネッセンス(OLED)素子は, 発光効率,柔軟性,軽量性,高速応答といった特長に より,動画表示や低コストディスプレイへの適用が期 待されている。これらの特性から,次世代のディスプ レイや照明技術として注目されている。しかし,実用 化においては,消費電力の低減,発光効率の向上,デ バイス寿命の延長,さらには低コストで高歩留まりの 製造プロセスの開発が重要な課題となっている。 デバイス設計においては、材料の電子構造を適切に 評価し、最適化することが重要である。特に、最低非 占有分子軌道 (LUMO) と最高占有分子軌道 (HOMO) のエネルギー準位を評価することが、キャリアの注入 効率や再結合効率の制御に役立つ。これにより、電子 と正孔の流れを最適化し、発光層での励起子の閉じ込 めや発光効率の向上を実現できる。また、界面設計を 工夫することで、発光効率の改善や素子寿命の延長に も貢献できる可能性がある。

LUMOとHOMOのエネルギー準位を適切に制御する ことで、キャリア注入効率や発光効率が向上し、デバ イスの性能向上につながると考えられる。

本測定では, Fig.16に示すような有機ELなどの有機 デバイスに使用される典型的な材料を試料とした。

①C₆₀薄膜 (10 nm)/Au (100 nm)/ITO (100 nm)/glass 基板

②CuPc (Cu phthalocyanine) 薄膜 (10 nm)/ITO (100 nm)/glass基板

③α-NPD (N N´-bis (1-naphthyl)-N N´-diphenyl-1

1´-biphenyl-4 4´-diamine) 薄膜 (10 nm)/ITO (100 nm)/glass基板

試料は帯電の影響を抑制するため, ITO (100 nm) 基板上に10 nmの薄膜を形成した。

ここでは、LEIPSとUPSを用いて電子親和力や価電 子帯最上端、イオン化エネルギーを算出し、さらに両 者の結果からバンドギャップを算出した事例を紹介す る。

3.4.1 UPS/LEIPSによるOLEDデバイスのバンド構 造評価

UPSより取得されたC₆₀薄膜の最表面スペクトルを Fig.17 (a) に示す。イオン化エネルギーの算出は、 UPSスペクトルから、下記式より求めることができる。

イオン化エネルギー=h v - (Eo-E_{VBM})

(h v : 照射源He I 線 (21.22 eV), Eo: 二次電子の立 ち上がり, E_{VBM}: HOMO)

LEIPSより取得されたC₆₀薄膜の最表面スペクトルを Fig.17(b)に示す。電子親和力の算出は、LEIPSスペ クトルから、横軸を真空準位基準でプロットしたスペ





34







クトルの立ち上がり位置より求めることができる。

UPSとLEIPSスペクトルを真空準位基準で組み合わ せると、バンドギャップの算出も可能となる(Fig.18)。 同様に、CuPc薄膜およびα-NPD薄膜について評価し た結果をFig.19およびFig.20に示す。各深さのLUMO 準位はLEIPSスペクトルより決定され、HOMO準位お よび薄膜層のフェルミレベルはUPSスペクトルより決 定された。この結果から、有機/無機構造のバンド構 造の直接評価が可能であることが確認された。

4. まとめ

アルバック・ファイ株式会社で販売している表面分 析装置「PHI GENESIS」について、特徴と実際の実 測例を紹介した。

文 献

- Hiromichi YAMAZUI, Risayo INOUE, Noriaki SANADA and Katsumi WATANABE: JSSSJ., 37, 150 (2016).
- Shin-ichi IIDA, Gregory L. FISHER, and Takuya MIYAYAMA: Surf. Interface Anal., 55, 209 (2023)
- Masahiro TERASHIMA, Kazutoshi Mamiya and Shin-ichi IIDA: Surf. Interface Anal., 55, 536 (2022)
- Masahiro TERASHIMA, Kazutoshi MAMIYA, Atsuo ONO, Takahito KIMOTO, Shunsuke SASAKI and Shin-ichi IIDA: J. Vac. Soc. Jpn., p.543-547, 9, 66 (2023)

35