

表面科学専門技術者として求められる知識および技能

2015. 4. 17 改訂

2016. 4. 22 一部改訂

全体共通

- ① 当該装置・手法（ただし17. 18. は除く）について自ら装置を稼働させ試料を準備・調製し目的にあった方法で測定できる。
- ② 当該装置・手法等の原理，特徴，解析・分析事例，装置等の構成を理解し，類似装置・手法との相違を理解して，目的に応じて使い分けることができる。
- ③ 真空を利用する場合，真空系の原理を理解して手動操作もできる。
- ④ それぞれの装置・解析法等で用いられる共通の専門用語を理解し，分析・解析結果等を論理的に説明することができる。
- ⑤ 当該装置・手法に ISO および JIS の規定がある場合には，それらに記されている手順の概要を理解している。（分野1. 2. 6. 8. 9. 11. 12. 18に該当）

1. 電子顕微鏡（TEM, SEM 等）

- ① 電子顕微鏡像におけるコントラストの起源の詳細を理解している。
- ② 電子顕微鏡における空間分解能の意味を理解している。

以下は選択

- ③ 分析電子顕微鏡において，エネルギー分析器の詳細を理解している。
- ④ 高分解能電子顕微鏡において高分解能像の形成過程を理解している。
- ⑤ 走査電子顕微鏡（STEM, SEM）において像に寄与する電子の起源を理解し，ビーム径と空間分解能の意味を理解している。

分析電子顕微鏡に関する追加

- ① EDXの原理を理解しており，得られたスペクトルから元素を同定できる。
- ② 特性線の吸収や二次励起が理解できる。
- ③ 試料での電子ビームや特性X線の広がりがわかっている。
- ④ EELSのスペクトルから元素の同定ができる。
- ⑤ EELSのスペクトルから化学状態を推定できる。
- ⑥ スペクトルシミュレーションを用いたEELSの解析ができる。

2. EPMA

- ① SEM 像を構成している各種電子信号の詳細を理解している。
- ② 特性 X 線像および SEM 像においてビーム径と空間分解能の意味を理解している。
- ③ 加速電圧と試料における電子散乱の関係を理解している。
- ④ WDS の原理を理解しており，X 線スペクトルから元素同定ができる。
- ⑤ 特性 X 線の発生原理および X 線信号の検出感度の評価の仕方を理解している。
- ⑥ X 線強度の統計変動を理論式で表現でき，正確な量的把握が出来る。

- ⑦ チャージアップ現象と電子線ダメージの問題を理解し適正な対処ができる。

3. 表面顕微鏡

- ① LEEM, REM, SREM, PEEM, SPLEEM, SAM など代表的な表面顕微鏡の1つの手法について画像コントラストの生成メカニズムを理解している。
- ② それらの画像から得られる物理化学的な情報とその取得原理を理解している。
- ③ それらの顕微鏡装置の1つに関する空間分解能の意味を理解している。

4. X線回折

- ① 逆格子の意味を理解しており、逆格子を実格子に変換できる。
- ② 運動学的回折理論を用いて回折強度を計算できる。
- ③ 回折図形から結晶形状や結晶状態を推定できる。
- ④ 表面回折の方法を知っている。
- ⑤ 結晶表面の構造解析法を知っている。

5. 電子回折

- ① 逆格子の意味を理解しており、逆格子を実格子に変換できる。
- ② 運動学的回折理論を用いて回折強度を計算できる。
- ③ 反射および透過電子回折図形から表面形態や結晶状態を推定できる。
- ④ 回折図形から表面結晶格子を決定できる。
- ⑤ 多重回折効果を考慮した回折図形の解析が出来る。

6. EBSD (後方散乱電子回折)

- ① EBSDの発生原理および回折図形 (EBSD 図形) に影響を及ぼす因子について理解している。
- ② 結晶方位算出までのプロセスを理解しており、解の信頼性の判断ができる。
- ③ 結晶学、材料組織学など関連技術を理解しており、評価目的に応じた適切な測定条件および解析条件を設定できる。

7. SPM

- ① 走査トンネル顕微鏡 (STM), および, 原子間力顕微鏡 (AFM) の原理と動作を理解している。
- ② 主な SPM によりマッピングする物理情報の概略を理解している。
- ③ STM の空間分解能を定式化できる。
- ④ SPM に関する粗動機構, 微動機構, フィードバック電気系, 電氣的ノイズ除去, 機械的振動除去などの装置の基本を理解している。

8. オージェ電子分光法 (AES)

- ① オージェ電子放出過程を理解した上で、必要に応じたデータ処理を正しく行い、AES ピークを同定することができる。
- ② 深さ方向分析結果に表れるアーティファクトを見抜く知見を有し、分析結果を正しく判断することができる。
- ③ チャージアップによる影響や電子線損傷の問題を理解しており、分析目的に応じた適切な測定条件を設定することができる。

9. X線光電子分光法 (XPS)

- ① 光電子とオージェ電子放出過程を理解した上で、必要に応じたデータ処理を正しく行い、XPS ピーク及びオージェピークを同定することができる。また、必要に応じたオージェパラメータを使いこなすことができる。
- ② 深さ方向分析結果に表れるアーティファクトを見抜く知見を有し、分析結果を正しく判断することができる。
- ③ チャージアップによる影響および測定時の X 線損傷や電子線損傷、熱損傷の問題を理解し、分析目的に応じた適切な測定条件を設定することができる。

10. 真空紫外光電子分光法 (UPS)

- ① 真空紫外線の特徴や電子エネルギー分光器の原理を理解しており、超高真空系の操作ができる。
- ② 光電効果を理解した上で、UPS スペクトルから表面のバンド構造や吸着分子、原子の価電子状態を推定できる。
- ③ 角度分解電子分光法やシンクロトロン放射法を用いた構造解析事例を理解している。

11. D-SIMS

- ① 分析しようとする材料において、目的の元素を最も高感度で検出可能な一次イオン種と二次イオン種の組合せを選択できる。
- ② 各種材料の不純物分析において、目的とする二次イオン種の検出の妨害となりうるイオン種を予測できる。
- ③ イオン注入により作製した標準試料を用いて不純物の定量分析ができる。
- ④ 材料や分析元素に応じ、深さ分解能向上をより重視した測定条件を提案することができる。

12. S-SIMS

- ① 得られた高分解能質量スペクトルの特徴的な二次イオン種の同定ができる。
- ② ①に基づき、試料表面の化学構造・状態、吸着分子（不純物を含む）の情報を提供することができる。
- ③ 得られた質量スペクトルの一次イオンドーズ量を算出することができる。また吸着分子が存在する場合は、その消滅断面積を算出することができる。

1 3. イオン散乱

- ① 中および高エネルギーイオン散乱スペクトルから定量分析および簡単な深さ分布の解析が出来る。
- ② 低エネルギーイオン散乱スペクトルから表面の組成分析ができる。
- ③ 低および中エネルギーのブロッキングプロファイルから表面原子配列の定性的な評価ができる。
- ④ カイネマティック因子，散乱断面積，阻止能，およびエネルギーストラグリングを理解している。
- ⑤ 荷電分布，多重散乱，遮蔽効果，核共鳴効果の影響を考慮した解析が出来る。

1 4. FEM, FIM, AP

- ① 電界放射，電界イオン化，電界蒸発などの物理を理解していて，FEM-FIM-AP の動作原理がわかる。
- ② タングステンなど代表的な金属の探針調製ができ，電解研磨，FIB 加工法などを理解している。
- ③ 真空装置の基本を理解していて，ヘリウム，ネオンなどの導入ガスを扱うことが出来る。
- ④ 高圧電源，増幅管（チャンネルプレートなど），冷却装置などを安全に使用することができる。

1 5. 振動分光

- ① 代表的な振動分光法の原理および選択則について説明できる。
 - ② 代表的な表面・界面振動分光法の検出深さについて説明できる。
 - ③ 測定系に対して適切な振動分光手法の選択ができる。
- 以下はいづれか選択
- ④ 表面・界面での選択則に基づいて吸着分子層(または物質層)の配向を推定する方法について具体的に説明できる。
 - ⑤ 吸着分子(または物質層)を同定し，その局所構造について推定する方法について具体的に説明できる。

1 6. 薄膜成長 (PVD, CVD, 電気化学的手法, エリプソメトリ等)

- ① 薄膜の形成過程：形態学的な3つの成長様式 (VW, FM, SK)について，その特徴，確認方法と生成要因を事例を挙げて説明できる。
- ② エピタキシャル成長：エピタキシを支配する諸要因とそのメカニズム，確認方法について事例を通して説明できる。
- ③ 成膜手法：PVD, CVD, めっき成膜法，それぞれ特徴および相違点について理解し，最適な成膜手法を選択できる。

以下は選択

- ④ PVD 成膜法：真空蒸着，MBE および各種スパッタリング法の特徴，相違点およびこれらの手法が適している膜種について事例を挙げて説明できる。
- ⑤ CVD 成膜法：熱 CVD および各種プラズマ CVD 法による成膜の特徴を，原料輸送，表面反応・核生成，反応生成物の脱離，外方拡散の観点から説明でき，これらの手法が適している膜種について事例を挙げて説明できる。
- ⑥ めっき成膜法：電解めっきおよび無電解めっき法による成膜の特徴と，各種添加剤の電気化学的な効果・役割を説明でき，これらの手法が適している膜種について事例を挙げて説明できる。
- ⑦ エリプソメトリによる薄膜評価法を理解して特徴を説明でき，この手法が適している膜種について事例を挙げて説明できる。

17. シミュレーション・理論計算

- ① 表面や表面吸着原子・分子の原子構造・電子状態を理論計算ないしシミュレーションで求めることができる。
- ② 原子構造や電子状態の計算結果から，安定原子構造や表面準位の特徴等を解析できる。
- ③ 以下のいずれかについて，理論計算・シミュレーションの方法論を理解しており，その計算結果を解析できる。
 - (i) 表面物性（電気特性，光学特性，磁気特性等）
 - (ii) 表面における動的過程（吸着・脱離，化学反応等）
 - (iii) 構造相転移・結晶成長

18. 表面分析装置（設計・製作）

- ① 試料導入，試料搬送，試料処理，分析ユニットとの取り合いなど，装置を系統的に設計できる。
- ② 真空度，排気速度，コストとのバランスなどを配慮して排気系，および，真空ゲージを選択でき，適切なリークテストを行うことが出来る。
- ③ 主だった素材の特徴（熱的・電氣的・機械的・化学的等）を使い分け，また，試料への加熱方法・冷却方法を理解している。
- ④ 表面分析において汎用的な電子及び二次電子の測定方法や検出器等の用途や構造を理解している。

以上