

約 120 種の表面分析手法を紹介。
研究者・技術者必携のレファレンス！

2021 年 6 月刊行

図説

表面分析 ハンドブック

日本表面真空学会 編集

B5 判 576 頁

定価 19,800 円 (本体 18,000 円)

ISBN978-4-254-20170-3

C3050

【読者対象】

- ・物理, 化学, 材料科学などを中心に, 固体表面を扱う理工系分野の研究者・技術者
- ・大学図書館, 研究室, 関連企業

- ◇基礎研究のみならず産業界でもさかんに利用されている表面分析。その手法を約 120 種取り上げ, 中項目形式 (各 2 ~ 8 頁) で解説。
- ◇原理とともに実際の適用例を複数紹介。
- ◇各項目の冒頭にはそれぞれの特徴や主な適用先などがまとめ, 一目で概要がつかめる。
- ◇試料の種類や性質, 目的に応じて適切な手法を選択するために役立つ一冊!

朝倉書店

■「刊行にあたって」より

表面や界面の科学技術は、様々な分野における現象の理解と機能制御の基盤になっています。ただ、材料自体によって発現する特性は限られており、例えば、表面や界面の状態を改質することで、それぞれの材料が持つ特性を大きく変えるとともに、新たな機能を創出し付加することも期待されます。こうした展開を実現していくには、物質の特性を深く理解するための分析技術を開発し活用することが大切です。しかし、これまでに多くの手法が開発され広く利用されていますが、表面や界面の情報を感度良く、また正しく引き出すためには、独特の工夫も必要になります。(中略)

本書は、120種にのぼる表面分析法について、その原理と具体的な適用例を解説しています。研究開発の一步を踏み出すための基本的な技術を身に付けるとともに、例えば、多様な技術を組み合わせることで、これまでにない全く新しいデータを計測し分析する道を拓く力にもなると思います。

日本表面真空学会会長 重川秀実

■編集委員

委員長 近藤剛弘 筑波大学

委員 阿部 仁 KEK / 茨城大学
板倉明子 NIMS
木口 学 (株)トヤマ
久保 敦 筑波大学

菅川 薫 筑波大学
島田 透 弘前大学
中辻 寛 東京工業大学
本間芳和 東京理科大学

増田卓也 NIMS
松井文彦 分子科学研究所

■目次

I. 電子

1. 電子線分析

- 1.1 オージェ電子分光法 [松井文彦]
- 1.2 電子線マイクロアナリシス [坂前 浩]
- 1.3 高分解能電子エネルギー損失分光法 [奥山 弘]
- 1.4 ペニングイオン化電子分光法 [細貝拓也]

2. 低エネルギー電子顕微鏡/光電子顕微鏡

- 2.1 低エネルギー電子顕微鏡 [白比野浩樹]
- 2.2 光電子顕微鏡 [木下豊彦]
- 2.3 時間分解光電子顕微鏡 [久保 敦]

3. 走査電子顕微鏡

- 3.1 走査電子顕微鏡 [岡野康之]
- 3.2 走査電子顕微鏡によるエネルギー分散型X線分光法 [森田正樹]

- 3.3 カソードルミネッセンス [関口隆史]
- 3.4 後方散乱電子回折法 [光原昌寿]
- 3.5 環境制御型走査電子顕微鏡 [大南祐介]
- 3.6 集束イオンビーム電子顕微鏡 [坂本哲夫]

4. 透過電子顕微鏡

- 4.1 透過電子顕微鏡 [三留正則]
- 4.2 走査透過電子顕微鏡 [木本浩司]
- 4.3 収差補正透過電子顕微鏡 [大島義文]
- 4.4 分析電子顕微鏡 [奥西栄治]
- 4.5 環境制御型透過電子顕微鏡 [川崎忠寛]

5. 電子回折法

- 5.1 低速電子回折法 [堀尾吉巳]
- 5.2 反射高速電子回折法 [堀尾吉巳]
- 5.3 透過電子回折法 [松井良夫]
- 5.4 マイクロプローブ反射高速電子回折法 [市川昌和]

II. 粒子

6. イオンビーム分析

- 6.1 飛行時間形二次イオン質量分析法 [青柳里果]
- 6.2 ダイナミック二次イオン質量分析法 [富田充裕]
- 6.3 レーザーイオン化二次中性粒子質量分析法 [坂本哲夫]
- 6.4 核反応解析法 [松本益明・Markus Wilde]
- 6.5 走査型ヘリウムイオン顕微鏡 [大西桂子]

7. イオン散乱法

- 7.1 直衝突イオン散乱分光法 [青野正和・片山光浩]
- 7.2 中エネルギーイオン散乱法 [西村智朗]
- 7.3 ラザフォード後方散乱法 [関場大一郎]
- 7.4 反跳原子検出法 [関場大一郎]
- 7.5 ヘリウム原子線散乱法 [近藤剛弘]

8. 陽電子回折法

- 8.1 陽電子回折法 [深谷有喜]

9. 中性子反射率法

- 9.1 中性子反射率法 [山田悟史]

III. 光

10. 赤外分光法・テラヘルツ分光法

- 10.1 赤外反射吸収分光法 [吉備 淳]
- 10.2 赤外外部反射法 [長谷川 健]
- 10.3 電気化学赤外反射吸収分光法 [叶 深]
- 10.4 p偏光多角入射分解分光法 [長谷川 健]
- 10.5 表面増強赤外吸収分光法 [島田 透]
- 10.6 テラヘルツ時間領域分光法 [片山郁文]

11. ラマン分光法

- 11.1 顕微ラマン分光法 [望月健太郎・藤田克昌]
- 11.2 表面増強ラマン散乱法 [池田勝佳]
- 11.3 チップ増強ラマン散乱法 [早瀬紀彦]

12. 非線形分光法

- 12.1 非線形分光法 [山口祥一]
12.2 光第二高調波発生分光法 [水谷五郎・Khuat Thi Thu Hien]
12.3 振動和周波発生分光法 [二本柳聡史]
12.4 電気化学和周波発生分光法 [野口秀典]
12.5 四次非線形ラマン分光法 [山口祥一]

13. 光学顕微鏡

- 13.1 光学顕微鏡 [手老龍吾・樺山一哉]
13.2 微分干渉顕微鏡・位相差顕微鏡 [佐崎 元・小松 啓]
13.3 干渉変位計測 [戸田雅也]

14. エリプソメトリ・表面プラズモン共鳴法

- 14.1 消光型エリプソメトリ [津留俊英]
14.2 分光エリプソメトリ・イメージングエリプソメトリ [森山 匠・板倉明子]
14.3 表面プラズモン共鳴法 [玉田 薫]

15. 可視分光法

- 15.1 フォトルミネッセンス測定 [宮内雄平]
15.2 反射率差分光法 [首藤健一・大野真也]
15.3 紫外・可視分光光度測定 (固体用) [雨倉 宏]

16. 光電子分光法

- 16.1 X線光電子分光法 [中村 誠]
16.2 角度分解光電子分光法 [佐藤宇史]
16.3 硬X線光電子分光法 [関山 明]
16.4 雰囲気X線光電子分光法 [近藤 寛]
16.5 時間分解光電子分光法 [松田 巖]
16.6 レーザー光電子分光法 [荒船竜一]
16.7 ナノ角度分解光電子分光法 [堀場弘司]

17. 光電子回折法

- 17.1 X線光電子回折法 [松下智裕・松井文彦]

18. X線回折法

- 18.1 X線反射率法 [Wolfgang Voegeli・荒川悦雄]
18.2 X線結晶トランケーションロッド散乱法 [白澤徹郎]
18.3 表面X線回折法 [荒川悦雄]
18.4 電気化学表面X線散乱法 [近藤敏啓]

19. X線吸収法

- 19.1 X線吸収端構造法 [阿部 仁]
19.2 広域X線吸収微細構造分光法 [阿部 仁]
19.3 軟X線吸収微細構造解析法 [雨宮健太]
19.4 電気化学X線吸収微細構造法 [増田卓也]

20. 走査透過X線顕微鏡

- 20.1 走査透過X線顕微鏡 [武市泰男]

21. X線分光法

- 21.1 全反射蛍光X線分析法 [国村伸祐]
21.2 共鳴非弾性X線散乱法 [原田絃久]

IV. 探針

22. 接触プローブ法

- 22.1 表面粗さ測定 [土佐正弘]
22.2 表面弾性波伝搬測定 [佐々木信也]
22.3 ナノインデンテーション法 [三宅晃司]

23. 原子間力顕微鏡

- 23.1 原子間力顕微鏡 [藤井慎太郎]
23.2 フォースカーブ法 [小暮亮雅]

- 23.3 水平力顕微鏡 [森口志穂]
23.4 電流同時測定 [藤 里砂]
23.5 周波数変調原子間力顕微鏡 [阿部真之]
23.6 位相モード [中島秀郎]
23.7 ケルビンフォース顕微鏡 [藤 里砂]
23.8 高速原子間力顕微鏡 [内橋貴之]
23.9 圧電応答顕微鏡 [平出雅人]
23.10 電気化学原子間力顕微鏡 [宇都宮 徹]
23.11 原子間力分光法 [森田清三・杉本直昭]
23.12 X線支援非接触原子間力顕微鏡 [鈴木秀士]
23.13 走査型近接場光学顕微鏡 [成島哲也]
23.14 走査型電気化学顕微鏡 [高橋康史]

24. 走査トンネル顕微鏡

- 24.1 走査トンネル顕微鏡 [藤井慎太郎]
24.2 走査トンネル分光法 [長谷川幸雄]
24.3 雰囲気制御・電気化学走査トンネル顕微鏡 [福井賢一]
24.4 非弾性電子トンネル分光法 [岡林剛夫]
24.5 走査トンネル顕微鏡発光分光法 [片野 諭]
24.6 時間分解走査トンネル顕微鏡 [重川秀実]
24.7 走査トンネル顕微鏡操作, 単分子誘起反応と振動分析 [奥山 弘]
24.8 多探針走査トンネル顕微鏡 [長谷川修司]
24.9 単分子電気計測 [西野智昭]

V. その他

25. 脱離分析法

- 25.1 昇温脱離法 [小倉正平]
25.2 電子衝撃脱離法 [宮内直弥]
25.3 光刺激脱離法 [福谷克之・池田暁彦]
25.4 グロー放電質量分析法 [坂 貴]
25.5 マトリクス支援レーザー脱離イオン化質量分析法 [佐藤貴弥]
25.6 アトムプローブ電界イオン顕微鏡 [富取正彦]
25.7 陽電子消滅誘起脱離法 [立花隆行・長嶋泰之]

26. 磁気計測

- 26.1 表面磁気光学カー効果測定 [中川剛志]
26.2 スピン分解光電子顕微鏡 [福本恵紀]
26.3 スピン偏極走査電子顕微鏡 [孝橋照生・松山秀生]
26.4 磁気力顕微鏡 [平出雅人]
26.5 スピン偏極走査トンネル顕微鏡 [山田豊和]
26.6 スピン・角度分解光電子分光法 [奥田太一]
26.7 X線吸収磁気円二色性分光法 [雨宮健太]

27. 水晶振動子マイクロバランス法

- 27.1 水晶振動子マイクロバランス法 [高井まどか]

28. 熱伝導率測定

- 28.1 パルス光加熱サーモフレクタンス法 (時間分解サーモフレクタンス法) [八木貴志]

29. データ解析

- 29.1 多変量解析 (統計的機械学習) によるスペクトルイメージング解析 [志賀元紀・青柳里果]
29.2 材料組織画像の特徴量解析 [足立吉隆・福井ちひろ・Zhi Lei Wang]

■本書の構成

2. 低エネルギー電子顕微鏡/光電子顕微鏡

2.1 低エネルギー電子顕微鏡 ① ②

Low-Energy Electron Microscope (LEEM) ②

- ③ ▼この手法でわかること
- ③ 構造
 - ③ 電子状態
 - ③ 形状
 - ③ 物性
 - ③ 組成
- ④ ▶分野
- 化学
 - 物理
 - 生物
 - 地球科学
 - 医療
 - エネルギー
 - 環境
 - 情報
 - 化成品
- ⑤ ▶適用先

- ⑥ 特徴・得られる情報
- ・nmスケールの空間分解能で表面構造を観察できる
 - ・高速で画像を取得でき、表面ダイナミクスの解析に適している
 - ・ μm サイズの選択領域の電子輪廻折パターンを取得できる
 - ・様々なコントラスト生成機構を利用することで、表面および薄膜の構造と電子状態に関する多様な情報を抽出できる
 - ・光電子顕微鏡など、各種の放出顕微鏡技術と互換性がある

⑦ 原理

低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM) は、試料から後方散乱された低エネルギー (通常 1-100 eV) の電子を用いて、表面の拡大像を得る顕微鏡である^[1]。実用的な LEEM 装置は、1980 年代半ばに Telleps 及び Bauer によって開発された^[2]。現在、標準的な市販装置は約 5nm の空間分解能を有し、ミラー収差補正器により空間

分解能を 2 nm 以下に高めた収差補正 LEEM 装置も販売されている。LEEM は投影型の顕微鏡で、各画素の画像情報を並列に取得できる。加えて、

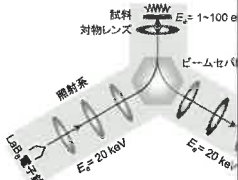


図1 LEEM装置の模式図
Eは電子エネルギーを示す。

16

- ① 分析手法の名称
- ② 英語名称と略称
- ③ この手法でわかること
[構造, 電子状態, 形状, 物性, 組成]
- ④ 適用先として想定される研究分野
[化学, 物理, 生物, 地球科学]
- ⑤ 適用先として想定される応用分野
[医療, エネルギー, 環境, 情報, 化成品]
- ⑥ 特徴と得られる情報を箇条書きで整理
- ⑦ 模式図などを用いて原理を簡潔に解説
- ⑧ 実際の適用例を豊富な図とともに複数紹介
- ⑨ プローブ別に分類した全5パートで構成
[電子, 粒子, 光, 探針, その他]

などの刺激を加えたときに放出される電子を画像化に用いる放出電子顕微鏡としても利用できる。例えば、照射により試料から放出された光電子を用いて、光電子顕微鏡像を取得できる。

LEEM にはいくつかの装置デザインがあるが、基本的な構成要素は多くの装置で共通である。図1にそのうちの1つの模式図を示す。LaB₆電子銃から放出された 20 keV の電子ビームは、いくつかのレンズを通過後、平行ビームとなって試料に入射する。このとき、電子のエネルギーは、試料の直近を除く電子光路上で 20 keV に保たれる。試料は電子源とはほぼ同じ電位に保持されており、電気的に接地された対物レンズ電極から約 2 mm の位置にある。電子ビームは、試料と対物レンズとの間の強い電界によって、電子銃と試料との電位差で決まるエネルギーまで減速される。その後、試料で弾性的に後方散乱された電子は、同じ電界によって 20 keV まで再加速される。

LEEM 装置では、電子は試料にほぼ垂直に入射し、後方散乱された電子が像形成に使用される。このため、照射系と結像系はビームセパレータによって分離されている。入射電子はビームセパレータによって 60° 偏向されて試料に到達し、後方散乱電子はビームセパレータによ

つて、対する回折ビームを用いて選択的に可視化できる。回折コントラストに加えて、電子波の干渉に基づく 2 種類の重要なコントラストがある。電子波がステップで隔てられた 2 つのテラスから反射されると、反射波が光路差に応じて干渉し、ステップ位相コントラストが現れる。原子サイズコントラストは、薄膜試料の表面と界面から反射した電子波が干渉することで現れ、入射電子エネルギーと膜厚に依存して反射強度が周期的に変化する。

⑧ 適用例

■ 適用例 1: グラフェン備析の動的観察
グラフェンは、2004 年に実験的に発見されて以降、基礎科学的な新規性と幅広い応用性から、爆発的に研究されている物質である。グラフェンの応用には、大面積で高品質なグラフェンの成長技術が必要であり、成長機構の理解は重要である。ここでは、LEEM により表面構造の動的変化をリアルタイム観察した例として、Ni 表面上でのグラフェン成長を紹介する。

Ni は炭素を固溶しやすく、その溶解度は高温ほど大きい。あらかじめ化学気相成長 (chemical vapor deposition: CVD) 法によって多層グラ

【キリトリ線】

【お申込み書】このお申込み書にご記入の上、最寄りの書店にご注文ください。

書名

図説 表面分析ハンドブック

定価 19,800 円 (本体 18,000 円) (20170-3)

取扱書店

冊

お名前

ご住所

TEL

朝倉書店

〒162-8707 東京都新宿区新小川町 6-29 TEL: 03-3260-7631 FAX: 03-3260-0180
http://www.asakura.co.jp E-mail: eigy@asakura.co.jp
価格は 2021 年 4 月現在