X線光電子分光法およびオージェ電子分光法による 定量分析の標準化

田 沼 繁 夫

物質・材料研究機構 分析ステーション ☎ 305-0047 つくば市千現 1-2-1

(2003 年 1 月 20 日受理)

Standardization of Quantitative Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopies

Shigeo TANUMA

Materials Analysis Station, National Institute for Materials Science
1-2-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-0047

(Received January 20, 2003)

This article describes the standardization of the surface quantification with Auger electron spectroscopy (AES) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) on International Standard Organization (ISO). The relative sensitivity factor (RSF) method is widely used for the quantitative surface analysis by AES and by XPS, and proposed as ISO/DIS 18118: Surface chemical analysis — AES & XPS — Guide to the use of experimentally determined relative sensitivity factors for the quantitative analysis of homogeneous materials. Three types of the RSFs have been used in this standard: elemental relative sensitivity factors (ERSFs), atomic relative sensitivity factors (ARSFs), and average matrix relative sensitivity factors (AMRSFs). The ERSFs are the simplest and easiest to apply. However, they are least accurate because no account is taken of matrix correction factor. The ARSFs are more accurate than the ERSFs because they take account of atomic density correction. The AMRSFs are most reliable RSFs in that there is almost complete correction of matrix effects. Then, it is recommended that the AMRSFs be used for the practical quantitative surface analysis of wide variety of solid materials by AES and XPS.

1. は じ め に

X線光電子分光法（XPS）およびオージェ電子分光法（AES）による表面定量分析法は種々の材料評価に広く用いられており、その重要性はよく認識されている。したがって、表面電子分光法の国際標準化組織であるVAMAS（Versailles Project on Advanced Materials and Standards; 1982年発足）でもISO（国際標準化機構）でも早くからその議論は盛んである¹⁾。しかし、定量分析を行うには、装置の校正法（エネルギー軸、強度軸）、バックグラウンド処理、検出器の強度の直線性等、事前に解決すべき事柄が数多くある。定量分析の標準化にはこれ

らすべてが必要であるが、大部分はISO TC201（表面化学分析）で扱われている。

ここではAESおよびXPSの定量分析に関する国際標準化の中核になっているISO TC201 SC5（オージェ電子分光法分科会）、SC7（X線光電子分光法分科会）で取り扱われている感度係数法による定量分析について実用的な観点から解説する。

2. ISO TC201におけるオージェおよびX線光電子分光法の概要

分科会SC5はオージェ電子分光法、SC7はX線光電子分光法と分かれているが、両者は共通するところが多いので、実際には区別することなく一緒に活動が行われている。実際の規格の立案、審議等の検討は作業部会を

E-mail: tanuma.shigeo@nims.go.jp

作って行われているが、ASE, XPS では定量化に関するもの (SC 5), 装置の仕様, 校正などに関連するもの (SC 7), 試料損傷に関するもの (SC 7) を扱う 4 つの作業部に分かれている。定量化に関する WG では以下の規格が議論されている。

1) DIS18118 —AES & XPS— Guide to the use of experimental relative sensitivity factors for the quantitative analysis of homogeneous materials

2) CD20903 —AES & XPS— Peak intensity determination

3) CD19318 —XPS— Reporting of methods used for charge control and charge correction

4) TR19319 —AES & XPS— Determination of lateral resolution, analysis area, and sample area viewed by the analyser

5) NWI —XPS— Procedures for determining backgrounds in X-ray photoelectron spectroscopy

6) NWI —AES— Deriving chemical information in Auger electron spectroscopy

3. 感度係数法による表面定量分析

ISO/DIS18118 —XPS & AES— Guide to the Use of Experimentally Determined Relative Sensitivity Factors for the Quantitative Analysis of Homogeneous Materials は相対感度係数法の成り立ちからその使用法までを解説した規格書である。

相対感度係数法は XPS や AES による日常的な定量分析では最も広く用いられている方法である。しかし、今日では感度係数としてはマトリックス補正を組み込まれたものが用いられるようになってきており、必ずしもその理解や使用法は簡単ではない。また、感度係数にはいくつかの種類があり実用的には換算法も重要である。このような状況から感度係数法による定量法の規格化が行われている。

3.1 適用範囲

この規格は AES および XPS による均一物質の表面定量分析における実験から求められる感度係数の測定法と使用法について述べたものである。ここで均一物質に限定しているのは定量理論を簡単にするためでもあるし、実際的には分析時にこのように仮定することが多いからでもある。

3.2 相対感度係数の種類と概要

AES や XPS による表面定量分析は相対感度係数 (RSF) を用いて行われることが多い。この感度係数には元素相対感度係数 (ERSF), 原子相対感度係数 (ARSF), 平均マトリックス相対感度係数 (AMRSF) の 3 種類が

使われる。従来の RSF, すなわち ERSF による定量はマトリックス効果補正を施していないため、その誤差はファクターで XPS では 0.3 から ³²⁾, AES では 0.1 から ⁸³⁾ と非常に大きい。ARSF はマトリックス補正の中で一般的に最も影響の大きい密度補正を行っているので、ERSF より優れた結果を与える。また AMRSF は密度, 電子の脱出深さ, 背面散乱効果 (AES のみ), 弾性散乱補正などのマトリックス補正をほぼすべて含んでいるので、ここであげた 3 つの RSF の中でも最も正確である。したがって、通常は AMRSF を用いるのが良い。エネルギーが低く、AMRSF の適用範囲以下 (175 eV 以下³⁾) のエネルギー領域では ARSF を用いるべきである。ERSF は半定量分析にのみ用いるべきである。

AES や XPS の実際的な分析においては、RSF 法で定量する場合は感度係数を測定したのと同様な分析条件で測定を行うべきである。また、この際のピーク強度の測定法は現在審議中の NP18119 を参照すべきである。AES では微分ピーク強度, 積分型スペクトルではピーク高さ, ピーク面積が用いられる。XPS ではピーク面積が一般的である。もちろん、感度係数測定時と未知試料分析時には同一条件にすることが必要である。

相対感度係数は励起源, 分光器, (検出器から見たときの) 分析面積, 試料のセッティングおよびそれらの設定条件等に依存する。したがって、実際の分析ではこれを同一にしなければならない。また、データ処理も感度係数の測定と実際の分析は同じものにすべきである。

市販されている AES や XPS では ERSF が一式添付されているが、たいいてい場合は測定条件は限定されており、通常使用する設定条件とその条件が同一とは限らない。そこで、分析者はいくつかの試料を用いて ERSF の正確さをチェックすることを勧める。さらに、強度-エネルギー応答関数 (透過関数) は経時変化を起こすので、これを確かめるためにもいくつかの元素で ERSF を測定すべきである。

3.3 定量分析の原理

均一な試料の表面組成の定量分析は未知試料の AES または XPS の元素 i のピーク強度 I_i^{unk} と組成既知の標準試料中の同一元素 i のピーク強度 I_i^{std} を比較することから始まる。これは装置に関連した要素や (ある場合には) マトリックスの影響を除くためである。もちろん、測定条件は未知試料でも標準試料でも同じでなければならない。表面が平滑で、分析領域が均一であるとき、両者の強度比は次式で与えられる³⁻⁷⁾。

$$\frac{I_i^{unk}}{I_i^{ref}} = \frac{X_i^{unk} N_i^{unk} Q_i^{unk} (1 + r_i^{unk}) \lambda_i^{unk}}{X_i^{ref} N_i^{ref} Q_i^{ref} (1 + r_i^{ref}) \lambda_i^{ref}} \quad (1)$$

ここで、 X_i^{unk} , X_i^{ref} はそれぞれ元素 i の未知試料および

参照試料における原子濃度, N^{unk} , N_i^{ref} はそれぞれ未知試料, 参照試料の原子密度, Q^{unk} , Q_i^{ref} はそれぞれ未知試料, 参照試料の電子の弾性散乱補正係数⁸⁾, r_i^{unk} , r_i^{ref} は AES におけるそれぞれ未知試料, 参照試料の背面散乱補正係数 (XPS では 0), λ_i^{unk} , λ_i^{ref} はそれぞれ未知試料, 参照試料の非弾性平均自由行程 (IMFP) である。

(1) 式より未知試料中の元素 i の表面濃度 X_i^{unk} は

$$X_i^{unk} = \left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^{ref}} \right) \frac{X_i^{ref} N_i^{ref} Q_i^{ref} (1 + r_i^{ref}) \lambda_i^{ref}}{N^{unk} Q^{unk} (1 + r_i^{unk}) \lambda_i^{unk}} = X_i^{ref} \left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^{ref}} \right) F_i \quad (2)$$

である。ここで, F_i は元素 i のマトリックス補正係数である。AES では一般に $0.1 \leq F_i \leq 8$ であり, その内 $1/3$ 以上の組み合わせでは, F_i は 0.5 以下または 1.5 以上である³⁾。一方, XPS では $0.3 \leq F_i \leq 3$ である²⁾。この (2) 式の特徴は従来の定量法では無視されている弾性散乱補正項 Q が含まれていることである。

n 成分系の場合, 元素 i の表面濃度 X_i^{unk} は

$$X_i^{unk} = \frac{\left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^{ref}} \right) F_i}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_j^{unk}}{I_j^{ref}} \right) F_j} \quad (3)$$

マトリックスファクターは組成に依存するので, (3) 式は繰り返し計算を行い, 濃度 X_i^{unk} を決める必要がある。ここで, 計算を簡単にするために, 原子密度, IMFP, 背面散乱係数, 弾性散乱補正係数は参照試料でも未知試料でも同一で, さらに参照試料は純元素物質とすれば, $F_i = 1$, $X_i^{ref} = 1$ であるから,

$$X_i^{unk} = \frac{\left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^{ref}} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_j^{unk}}{I_j^{ref}} \right)} \quad (4)$$

となる。この (4) 式は日常的な定量分析では使われることが多いが, 先に述べたように $F = 1$ としているので誤差が非常に大きいことは注意すべきである。

(3) または (4) 式により未知試料中の元素 i の表面濃度 X_i^{unk} を求めるためには未知試料中のすべての元素 j についての I_j^{ref} が必要である。この値は通常は純元素固体を用いることが多いが, アルカリ金属などでは化合物が使われる。また, 感度係数としてある決まった元素を基準にして測定値をそろえておくことと便利である。この基準元素には XPS では LiF における F 1s ピーク強度, AES では純銀試料の Ag M_{4,5}VV を用いることが多い。

3.4 相対感度係数

未知試料中の元素 i の相対感度係数を I_i^{RSF} , マトリックス補正係数を F_i とすると, n 成分からなる未知試料中の元素 i の表面原子濃度 X_i^{unk} は次式で与えられる。

$$X_i^{unk} = \frac{\left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^{RSF}} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_j^{unk}}{I_j^{RSF}} \right)} \quad (5)$$

また, マトリックス補正を無視すれば (4) 式と同様に

$$X_i^{unk} = \frac{\left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^{RSF}} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_j^{unk}}{I_j^{RSF}} \right)} \quad (6)$$

となる。これらは (3), (4) 式の I_i^{ref} を I_i^{RSF} に入れ換えることによって得られる。これは先に述べたように基準元素で規格化したピーク強度を使うことを意味している。この I_i^{RSF} には 3 種類の相対感度係数 (RSF) が使われる。すなわち元素相対感度係数 (ERSF) I_i^E , 原子相対感度係数 (ARSF) I_i^{At} , 平均マトリックス相対感度係数 (AMRSF) I_i^{Av} である。

3.4.1 元素相対感度係数 ERSF

元素相対感度係数は純元素または化合物の測定から得られる。純元素物質 i の測定ピーク強度 I_i^{ref} を用いるときは純元素相対感度係数 (PERSF) と呼ばれる。これを I_i^{Ep} で表すとき,

$$I_i^{Ep} = \frac{I_i^{ref}}{I_{key}} \quad (7)$$

である。ここで, I_{key} は基準物質における基準元素のピーク強度である。また, 化合物を用いる場合は, 対象元素 i の原子濃度を X_i^{ref} , 測定強度を同様に I_i^{ref} とすれば, ERSF I_i^{Ec} は次式で与えられる。

$$I_i^{Ec} = \frac{I_i^{ref}}{X_i^{ref} I_{key}} \quad (8)$$

ERSF は同一の元素であっても測定に用いる化合物の種類 (単体元素固体を含む) によってマトリックス効果や表面汚染の度合いやイオンスパッタを行う場合はそれによる表面偏析等が起こるので当然異なることになる。

(7), (8) 式の両者は一組と考えられ, 通常はこれを ERSF とし, I_i^E と記述する。

3.4.2 原子相対感度係数 ARSF

原子相対感度係数 (ARSF) I_i^{At} は補正係数の中で最も補正量の大きい原子密度について補正したものであり, 次式で定義される^{5,9)}。

$$I_i^{At} = \left(\frac{N_{key}}{N_i} \right) I_i^E \quad (9)$$

ここで N_{key} , N_i はそれぞれ基準物質の原子密度, 測定した元素 i の参照試料の原子密度を表す。この (9) 式が意味するところは, 原子密度で補正をしているので, 原子 1 個あたりのピーク強度を基準にして元素ごとに比べられていることになる。その意味では常識的な比較法である。

3.4.3 平均マトリックス感度係数

(1) 式で示したマトリックス効果を含めた相対感度係数も求めることが可能であり、これが平均マトリックス感度係数 (AMRSF) I_i^{Av} であり、次式で定義される^{2, 3, 10)}。

$$I_i^{Av} = \left(\frac{N_{av} Q_{av} (1+r_{av}) \lambda_{av}}{N_i Q_i (1+r_i) \lambda_i} \right) I_i^E \quad (10)$$

ここで、 av は平均マトリックス組成を表す。この感度係数を用いて AES 定量分析を行うとき、175 eV 以上のピークの組み合わせでは、(2), (3) 式を用いた定量値 (マトリックス効果を完全に含む) との差は 3% 以下であった^{3, 10)}。また、500 eV 以上のピークでは AMRSF 法と完全なマトリックス補正法の差は 1.2% 以内となる^{3, 10)}。さらに AMRSF は (3) 式とは異なり繰り返し計算が不要という大きな利点がある。

ここで、AMRSF が優れた定量結果を与える理由を考えてみる。(3), (5) 式において、マトリックス補正係数 F_i を

$$F_i = \frac{G_i}{G_i^{unk}} \left(= \frac{N_i Q_i (1+r_i) \lambda_i}{N^{unk} Q_i^{unk} (1+r_i^{unk}) \lambda_i^{unk}} \right) \quad (11)$$

とすれば (10) 式の AMRSF を (2) 式に代入すれば

$$\begin{aligned} X_i^{unk} &= X_i^{ref} \left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^{Av}} \right) F_i = X_i^{ref} \left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^E G_{av}/G_i} \right) \frac{G_i}{G_i^{unk}} \\ &= X_i^{ref} \left(\frac{I_i^{unk}}{I_i^E} \right) \frac{G_{av}}{G_i^{unk}} \end{aligned} \quad (12)$$

したがって、補正係数は未知試料と“仮想的な平均マトリックス”との比となる*。

(3) 式のように存在するすべての元素で考えれば、密度項 N_{av}/N_i^{unk} は元素 i の参照試料の値がわかれば十分であり、問題はない。他の補正項 Q , λ , r の比は仮想的な平均マトリックスの値と未知試料の値の組み合わせであり、元素と未知試料の補正項比よりは一般的にその差は小さくなる。これは似た組成のマトリックスを標準に用いて、補正量を小さくすることと同一である。

3.5 定量計算法

ここでは AMRSF を用いて定量分析を行うときに必要となるパラメータの計算法について解説する (定量操作は先に述べたように (3) 式でもって行う)。

1) 原子密度 N

元素 i の標準試料の原子密度 N_i は、密度を ρ (kg m^{-3})、アボガドロ数を N_A 、 i の原子濃度を C_i とすれば

$$N_i = 1000 \rho C_i N_A / M_i \quad (13)$$

である。ここで、 M_i は参照試料の分子量 (または原子量である。また純元素物質では $C_i=1$ である)。

* この“仮想的な平均マトリックス”はどのような物質を充てても良いが、これにより補正量の大きさが変化する。一般には後述する Seah らの値²が用いられる。

2) 弾性散乱補正係数 Q

パラメータ Q は原子番号および検出角度 (試料法線から測定) の関数である。 Q は以下の式から計算される⁸⁾。

$$Q_i = (1 - \omega_i)^{0.5} H(\cos \alpha, \omega_i) \quad (14)$$

$$\omega_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \lambda_i^{tr}} = \frac{1}{1 + \zeta_i} \quad (15)$$

$$\zeta_i = \exp[\Gamma_{i,3} \ln^3 E_i + \Gamma_{i,2} \ln^2 E_i + \Gamma_{i,1} \ln E_i + \Gamma_{i,0}] \quad (16)$$

(16) 式の各係数は規格書 ISO/DIS18118 には表として示されている。また H は Chandrasekar 関数と呼ばれ次式で与えられる^{11, 12)}。

$$H(\cos \alpha, \omega_i) = \frac{1 + 1.9078 \cos \alpha}{1 + 1.9078 \cos \alpha (1 - \omega_i)^{0.5}} \quad (17)$$

である。 ω_i は単一散乱アルベドであり、(15), (16) 式から計算できるが、IMFP λ_i と移送平均自由行程 λ_i^{tr} から直接計算することも可能である。前者には (24) 式に示す TPP-2M を用い、後者には Tilinin により求められた下式が用いられる¹³⁻¹⁵⁾。

$$\lambda_{tr} = \frac{1}{\pi a_0^2 N_A T(\epsilon)} \quad (18-a)$$

$$\begin{aligned} T(\epsilon) &= \frac{2.5}{\epsilon} \left[\epsilon \left\{ 1 - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon + 0.41} \right)^{3/2} \right\} \right] \\ \sin^2 \left\{ \frac{\pi}{2} \left[\frac{2\epsilon}{\epsilon + 0.41} \right]^{1/2} \right\}, \quad \epsilon < 0.3 \end{aligned} \quad (18-b)$$

$$\begin{aligned} T(\epsilon) &= \frac{2.5}{\epsilon} \left[\epsilon \left\{ 1 - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon + 0.41} \right)^{3/2} \right\} \right] \frac{1}{\epsilon^2} \ln(1 + 2.5 \epsilon), \\ \epsilon &> 0.3 \end{aligned} \quad (18-c)$$

ここで、 a_0 は Bohr 半径、 $\epsilon = E_{av}/Z e^2$ (換算エネルギー) である。

また、 Q を $\alpha=0$ とし、 ω_i のみの関数とする下式も用いられる¹⁶⁾。

$$\begin{aligned} Q_i &= (1 - \omega_i)^{0.5} \left[0.091 + 0.0923 \left(\frac{1 + 1.908}{1 + 1.908(1 - \omega_i)^{0.5}} \right) \right] \\ \omega_i &\geq 0.245 \end{aligned} \quad (19-a)$$

$$Q_i = (1 - \omega_i)^{0.5} (1 + 0.412 \omega_i) \quad \omega_i < 0.245 \quad (19-b)$$

通常は $\alpha \neq 0$ であっても、測定条件をそろえて、さらに最終的には比をとるので上式だけで十分である。参考のために $Q_i(\alpha)$ の計算式を以下に示しておく¹⁶⁾。

$$\frac{Q_i(\alpha)}{Q_i} = 0.863 - 0.308 \cdot \cos \alpha - 0.171 \cdot \cos^2 \alpha \quad (20)$$

3) 背面散乱係数 r

AES 分析において、電子線の入射角 θ 、試料の原子番号を Z とすると参照試料における電子の r_i (背面散乱係数¹⁷⁾) は

$$\begin{aligned} r_i &= (2.34 - 2.10 Z^{0.14}) U_0^{-0.35} + 2.58 Z^{0.14} - 2.98 \\ (\theta &= 0^\circ) \end{aligned} \quad (21)$$

$$r_i = (0.462 - 0.777 Z^{0.20}) U_0^{-0.32} + 1.15 Z^{0.20} - 1.05 \quad (\theta = 30^\circ) \quad (22)$$

$$r_i = (1.21 - 1.39 Z^{0.13}) U_0^{-0.39} + 1.94 Z^{0.13} - 1.88 \quad (\theta = 45^\circ) \quad (23)$$

ここで、 $U_0 = E_0/E_b$ ； E_0 は電子線の入射エネルギー、 E_b は対象としているオージェ遷移の最初にイオン化する殻（軌道）の結合エネルギーである。また、これらの式の適用範囲は $3 \leq E_0 \leq 10 \text{ keV}$ である。

4) 電子の非弾性平均自由行程 λ

電子の非弾性平均自由行程 λ はオージェまたは光電子の運動エネルギーおよび試料組成の関数であり、次に示す TPP-2M 式から計算できる¹⁸⁾。

$$\lambda_i = \frac{0.1 E_i}{E_p^2 [\beta \ln(\gamma E_i) - (C/E_i) + (D/E_i^2)]} \quad (\text{nm}) \quad (24-a)$$

$$\beta = -0.10 + 0.944(E_p^2 + E_g^2)^{-0.5} + 0.069(\rho/1000)^{0.1} \quad (24-b)$$

$$\gamma = 0.191(\rho/1000)^{-0.5} \quad (24-c)$$

$$C = 1.97 - 0.91 U \quad (24-d)$$

$$D = 53.4 - 20.8 U \quad (24-e)$$

$$U = N_v \rho / 1000 M_i \quad (24-f)$$

$$E_p = 28.8(N_v \rho / 1000 M_i)^{0.5} \quad (24-g)$$

ここで、 E_i は電子のエネルギー (eV)、 ρ は密度 (kg m^{-3})、 N_v は 1 原子または分子あたりの価電子の数¹⁹⁾、 M_i は原子または分子量、 E_g はバンドギャップエネルギー (eV) である。

5) 平均マトリックスにおける各種補正係数

平均マトリックス試料における Q 、 N は次式で与えられる^{2, 3, 10)}。

$$N_{av} = 5.20 \times 10^{28} \quad (\text{atoms m}^{-3}) \quad (25)$$

$$Q_{av} = 0.951 - \left(\frac{E_i - 2310}{10300} \right)^2 \quad (26)$$

他の補正係数は平均マトリックスを $Z=40.5$ 、 $N_v=4.684$ 、 $\rho=6767 \text{ kg m}^{-3}$ 、 $M_i=137.51$ 、 $E_g=0 \text{ eV}$ と仮定して計算する^{2, 3, 10)}。

このとき、

$$r_{av} = 1.353 - 1.187 U_0^{-0.35} \quad (\theta = 0^\circ) \quad (27-a)$$

$$r_{av} = 1.362 - 1.168 U_0^{-0.32} \quad (\theta = 30^\circ) \quad (27-b)$$

$$r_{av} = 1.260 - 1.039 U_0^{-0.39} \quad (\theta = 45^\circ) \quad (27-c)$$

$$\lambda_{av} = \frac{0.000523 E_i^3}{48.6 - 1.76 E_i + 0.0518 E_i^2 (-2.61 + \ln E_i)} \quad (\text{nm}) \quad (28)$$

となる⁴⁾。これらはすべて測定するオージェまたは光電子のエネルギーのみの関数になっており、簡単に計算することができる。

3.6 分析結果の不確かさ

感度係数法による表面定量分析において、分析結果に不確かさを与える要因は数多く複雑である。規格では付録 B（参考）として、分析値の不確かさに関する要因をあげている。すなわち、マトリックス効果（RSF 係数におけるマトリックス効果、ピーク強度におよぼすマトリックス効果の影響）、試料表面の形状、照射損傷、イオンスパッタリングの効果、表面汚染について簡単に記述し、参考文献をあげている。これらの項目はいずれをとっても非常に重要な項目であり、この「感度係数法」の規格を越えるものであり、個々に標準化した規格書が発行されるべきものである。現在 ISO TC201（表面化学分析）や VAMAS TWA 2（表面化学分析）で盛んに議論され、標準化が検討されている。これらの規格書が発行された時点で解説を行うのが適当であろう。

4. ま と め

X 線光電子分光法（XPS）およびオージェ電子分光法（AES）による表面定量分析法として最も広く用いられている相対感度係数法が国際規格として ISO/DIS18118 として制定されようとしている。この規格について解説した。規格では 3 種類の RSF が用いられ、相互の変換が重要なので、その計算が他の文献を参照することなくできるように詳細に記述した。

取り上げた感度係数の中で AMRSF は、理論的には優れた方法ではあるが、現状では実際に適用されているとは言い難い。しかし、この ISO18118 が発行されればその有効性が立証され、感度係数法による定量が「半定量分析」とは呼ばれることは無くなるであろう。

文 献

- 1) 田沼繁夫：マテリアル、**42**, 101 (2003).
- 2) M.P. Seah and I.S. Gilmore: J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **120**, 93 (2001).
- 3) M.P. Seah and I.S. Gilmore: Surf. Interface Anal. **26**, 908 (1998).
- 4) ISO/DIS18118: —AES & XPS— Guide to the use of experimental relative sensitivity factors for the quantitative analysis of homogeneous materials.
- 5) K.D. Childs, B.A. Carlson, L.A. LaVanier, J.F. Moulder, D.F. Paul, W.F. Stickie and D.G. Watson: "Handbook of Auger Electron Spectroscopy", Third Edition (Physical Electronics Inc., Eden Prairie, MN, 1995).
- 6) K. Yoshihara, R. Shimizu, T. Homma, H. Tokutaka, K. Goto, M. Umehara, D. Fujita, A. Kurokawa, S. Ichimura, C. Oshima, M. Kurahashi, M. Kudo, Y. Hashiguchi, Y. Fukuda, T. Suzuki, T. Ohmura, F. Soeda, K. Tanaka, A. Tanaka, T. Sekine, Y. Shiokawa and T. Hayashi: Surf. In-

- terface Anal. **12**, 125 (1988).
- 7) S. Tanuma, T. Sekine, K. Yoshihara, R. Shimizu, T. Homma, H. Tokutaka, K. Goto, M. Umemura, D. Fujita, A. Kurokawa, S. Ichimura, C. Oshima, M. Kurahashi, M. Kudo, Y. Hashiguchi, T. Suzuki, T. Ohmura, F. Soeda, K. Tanaka and A. Tanaka: Surf. Interface Anal. **15**, 466 (1990).
 - 8) A. Jablonski and C.J. Powell: J. Vac. Sci. Technol. A **15**, 2095 (1997).
 - 9) J.F. Moulder, W.F. Stickle, P.E. Sobol and K.D. Bomben: "Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy" (Perkin-Elmer Corp., Physical Electronics Inc., Minnesota, 1992).
 - 10) M.P. Seah: J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **100**, 55 (1999).
 - 11) S. Chandrasekar: "Radiative Transfer" (Dover Publications, New York, 1960).
 - 12) A. Jablonski and C.J. Powell: J. Vac. Sci. Technol. A **15**, 2095 (1997).
 - 13) I.S. Tilinin: Sov. Phys. JETP **67**, 1570 (1988).
 - 14) I.S. Tilinin: Phys. Rev. A **51**, 3058 (1995).
 - 15) P. Cumpson: Surf. Interface Anal. **25**, 447 (1997).
 - 16) M.P. Seah and I.S. Gilmore: Surf. Interface Anal. **31**, 835 (2001).
 - 17) S. Ichimura, R. Shimizu and J.P. Langeron: Surf. Sci. **124**, L49 (1983).
 - 18) S. Tanuma, C.J. Powell and D.R. Penn: Surf. Interface Anal. **21**, 165 (1994).
 - 19) S. Tanuma, C.J. Powell and D.R. Penn: Surf. Interface Anal. **35**, 268 (2003).