

スペクトロメーターオフセット関数によるオージェ電子分光法における簡易エネルギー軸較正方法

藤田 大 介・吉 原 一 紘

金属材料技術研究所 番305 つくば市千現 1-2-1

(1993年4月15日受付, 1993年5月20日掲載決定)

A New and Practical Energy Calibration Method Using Spectrometer Offset Function in Auger Electron Spectroscopy

Daisuke FUJITA and Kazuhiro YOSHIHARA

National Research Institute for Metals
1-2-1 Sengen, Tsukuba 305

(Received April 15, 1993; Accepted May 20, 1993)

A practical and simple calibration procedure for determining the energy scale in Auger electron spectroscopy (AES) by using a newly developed idea of a spectrometer offset function is proposed here. This method enables transformation of the uncalibrated energy scale to be the calibrated and Fermi-level-referenced ones. The reliability of the calibrated energy scale can be estimated by the standard error of least-square fitting of the spectrometer offset function to the experimental values. A round-robin test involving the different kinds of twelve spectrometers has been conducted to clarify the effectiveness of this calibration method. Compared with the Fermi-level-referenced kinetic energies of Ni L₃VV and M₃VV, the scatter of these calibration-corrected peak positions is found to be very low, amounting to 20~30% of the scatter of uncorrected values. It is also found that the spectrometers with the higher energy resolution tend to have the lower standard errors. These results clearly suggest that this procedure is very useful for the practical calibration of AES energy scale.

1. 目 的

オージェ電子分光法 (AES: Auger Electron Spectroscopy) においては従来からエネルギー軸の較正に関する関心は、同様に電子のエネルギーの分光を行うX線電子分光法 (XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy) に比べて低く、それゆえ得られたエネルギー値に対する信頼性は著しく低かった。実際、米国 ASTM E-42 委員会のおこなったラウンドロビンテストの結果によれば、Au の M₃N_{6,7}N_{6,7} ピーク位置で測定機関間で最大 32 eV もの差が生じた¹⁾。AES の測定が組成の半定量にのみ重点を置き、データがその場限りで消耗されるような場合にはエネルギー軸の曖昧さの問題は比較的大きな問題ではなかったかもしれない。しかし二つの理由から

現在ではこの問題は大きく取り上げられてきている。ひとつは過去 10 年間の VAMAS-SCA に代表される表面解析法の定量化、標準化に対する進歩である^{2,3)}。この動きは当然のことながらエネルギー軸の標準化にも取り組んでいる^{4,5)}。もうひとつはファクターアナリシス (Factor Analysis) に代表される多変量解析手法がデータ解析に適用されはじめたことである^{6,7)}。この手法には参照すべき標準スペクトルが必要であるため、正確なスペクトルのデータベースを作るべきだというコンセンサスが得られつつある⁸⁾。

このような新しい動きに対応し、すでに M. P. Seah らは装置の厳密なエネルギー較正方法を開発し、較正用エネルギー値を提供している⁹⁾。彼らのおこなった較正はエネルギー分解能が比較的高い CHA (Concentric

Hemispherical Analyzer) 型分光器に対するものであることから、得られたエネルギー軸の精度も高いと思われる。さらに Seah らは Au, Ag, Cu のラウンドロビン試験を行い、実験的に得られたエネルギー値に校正を施すことによって各機関の報告したピーク位置の分散が ASTM の行ったそれに比較して～15% まで減少させられることを示した⁹⁾。彼らの校正方法は電子の相対論的効果まで考慮にいたった厳密なものであるが、AES のデータベースを構築する際には多数の機関からのさまざまなレベルのデータを集める必要があるため、実用的かつ簡易な校正方法や校正結果の報告仕様を標準化することは意義のあることと思われる。

本論文では、新しい簡易校正方法を提案し、その有用性をラウンドロビン試験により調べたので報告する。本研究は VAMAS-SCA の国内委員会における討議から生まれたものであり、それゆえ本ラウンドロビン試験はこの研究会の枠内で行われた。なお、ここで提案する方法は XPS においても同様に有用であると考えられ、運動エネルギーが 2000 eV 程度以下の一般の電子エネルギー分光器すべてに適用できるとと思われる。

2. スペクトロメーターオフセット関数

従来から、AES においてはエネルギー軸の原点は真空単位にとってきた。電子分光器は電子の運動エネルギー E_K を自らのもつ真空単位 $E_{v,a}$ から測定しているからである。しかし分光器の真空単位 $E_{v,a}$ は分光器ごとに異なり、また経時変化がありうる。この結果、同一試料からのスペクトルでも異なった装置では異なったエネルギー位置にピークが現れる可能性がある。このような理由から、より普遍的なフェルミ単位 E_F を基準に取るべきであるとの指摘がなされており¹⁰⁾、本論文でもこの立場をとることとする。このようなエネルギー軸の関係を Fig. 1 に模式的に示す。この場合の試料は金属とする。図中で試料に関する場合には添え字 s (sample) が、分光器に関する場合には添え字 a (analyzer) が各記号の後に下ツキで添えられている。試料と分光器間は導体で接続されているから試料のフェルミ単位 $E_{F,s}$ と分光器のフェルミ単位 $E_{F,a}$ とは一致する ($=E_F$)。両者の仕事関数 (ϕ_s, ϕ_a) の差は接触電位差 E_c である。試料のフェルミ単位基準の運動エネルギー $E_{K,s}$ は分光器の真空単位基準の運動エネルギー $E_{K,a}$ とつぎの関係がある。

$$E_{K,s} = E_{K,a} + \phi_a \quad (1)$$

この関係は XPS と AES の両方に成り立つ。XPS の場合には既知のエネルギー $h\nu$ の光子を入射し、結合エネルギー E_B の内殻準位の電子を真空中へたたき出す。その場合の光電子運動エネルギーと結合エネルギー

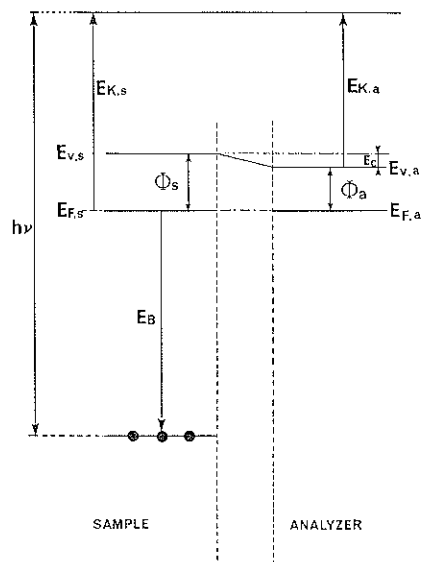


Fig. 1 Schematic diagram for the energy levels of emitted Auger electrons and X-ray photoelectrons which are measured by an electron spectrometer.

との関係を以下に示す。

$$E_B = h\nu - E_{K,a} - \phi_a = h\nu - E_{K,s} \quad (2)$$

XPS では結合エネルギー E_B の原点は試料のフェルミ単位であり、また試料のフェルミ端は Ni などを用いて実測することができる。このことや、(2)式の関係が成り立つことから、試料フェルミ単位 $E_{F,s}$ を基準として運動エネルギー $E_{K,s}$ や結合エネルギー E_B を考えることは、XPS の場合 AES と比較してより容易である。

CMA 型分光器の場合に多い真空単位基準の AES 測定器の場合、(1)式から測定器の示す真空単位のエネルギー値とフェルミ単位のそれとの差は本来は分光器の仕事関数 ϕ_a に相当するべきである。しかしながら、実際には測定電気回路系の誤差などから、多くの場合、この差は物理的な意味での分光器の仕事関数 ϕ_a (Spectrometer Work Function) にはなっていないと考えられる。CHA 型分光器の場合に多いフェルミ単位基準の AES 測定器でも、設定フェルミ単位基準エネルギー値と真のエネルギー値との間にはある程度の誤差がある。それゆえ、分光器の型によらない実用的な校正方法を考える場合、測定器指示運動エネルギー軸 (E_{obs}) と真のフェルミ単位基準のエネルギー軸 ($E_{K,s}$) との差を問題にすべきであり、この差のことをスペクトロメーターオフセット関数 (Spectrometer Offset Function) W と呼ぶことにする。これは測定器指示運動エネルギー軸から真の軸 (フェルミ単位基準) へ変換するための関数

であり、AES にも XPS にもあてはまる概念である。定義から、オフセット関数 W は測定装置から報告されたエネルギー E_{obs} の関数であるとする。すなわち、

$$W(E_{obs}) = E_{K.s} - E_{obs} \quad (3)$$

ここでは、関数形としては次式で示すように 1 次関数形で近似することにした。すなわち、測定系の指示値の誤差としては定数分のオフセット C_0 のほかにエネルギー軸走査における直線性の誤差も考慮に入れていることになる。

$$W(E_{obs}) = C_0 + C_1 E_{obs} \quad (4)$$

なお、ここで 1 次式で近似したのは校正用の点が多分に多くは提供されていないことによる。今後校正用のピークが多く提供された場合には、より複雑な高次の多項式関数を用いることも考えられる。

実験的に $W(E_{obs})$ を求める手順としては、まず既にエネルギー値が精度よく報告された Au, Cu, Ag の純物質の指定のオーグゼピーク (Au $N_{6,7}$ VV, AuM $_{5,6}$ $N_{6,7}$, Cu $M_{2,3}$ VV, Cu L_{3} VV, AgM $_{4}$ NN) の位置を測定する。これらの校正値として M. P. Seah らによって報告されたもの⁵⁾を Table 1 に示す。つぎに得られたピーク位置 E_{obs} と真のフェルミ準位基準の位置 $E_{K.s}$ とを図にプロットし、最小二乗法を用いてフィッティングさせることによって $W(E_{obs})$ の係数値を求める。

Table 1 The first, second and third columns show the Auger transitions and the energy ranges to be measured, and the calibration kinetic energies which are Fermi level referenced, respectively. The stars (*) mean that the kinetic energy values for Ni M_{3} VV and L_{3} VV are not calibrated.

Sample/Auger peak	Energy range to be measured E_{obs} /eV	Fermi level referenced Calibration energy $E_{K.s}$ /eV
Ag M_{4} NN	335~365	357.81
Cu M_{3} VV M_{2} VV	50~85	61.16 63.44
Cu L_{3} VV	900~930	918.62
Au N_{7} VV N_{6} VV	50~85	70.10 72.21
Au M_{5} $N_{6,7}$ $N_{6,7}$	1995~2050	2015.57
Ni M_{3} VV	45~80	59.4(*)
Ni L_{3} VV	830~860	846.1(*)

3. ラウンドロビン試験の実験方法

参加機関は 11 機関、測定に供した分光器は Table 2 に示すように 12 台であった。電子分光器の型としては、CHA が 2 メーカー 2 機種 2 台、CMA (Cylindrical Mirror Analyzer) が 2 メーカー 6 機種 10 台であった。装置の報告する測定エネルギー軸は CHA の場合はフェルミ準位基準、CMA の場合はすべて真空準位基準であった。測定モードとしては CHA の場合は FAT (Fixed Analyzer Transmission) もしくは CRR (Constant Retarding Ratio), CMA の場合はすべて $\Delta E/E = \text{一定}$ モードであった。

(1) 試料

校正に用いるエネルギー軸校正用の標準試料としては、各機関でそれぞれ用意した純度 99.9% 以上の Au, Ag, Cu の板状試料を用いた。また、このスペクトロメーターオフセット関数を用いた簡易校正方法の精度を調べるために純度 99.9% 以上の Ni の板状試料を各機関で参考試料として準備した。

(2) 分光器位置調整

参加機関は必ず測定前に分光器の位置調整を 2~3 keV の入射電子線の弾性散乱ピーク測定によりおこなひ、同時に分光器の実測エネルギー分解能を把握した。分解能としては相対エネルギー分解能 ($\Delta E/E$) であり、その定義は弾性散乱ピークの 1 階微分型スペクトルの極大点と極小点との幅 (ΔE) をピークエネルギー (ゼロクロス値: E) で除した値とした¹¹⁾。

(3) オーグゼスペクトル測定

弾性散乱ピークによる電子分光器位置調整をおこなっ

Table 2 The types of responsee's instruments and their operation conditions for the round robin test of spectrometer offset function.

No.	Manufacturer-Model code	Analyzer type-referenced level	Energy resolution	Operation mode
1	A-1	CHA-Fermi	0.25 eV	FAT
2	B-1	CHA-Fermi	0.20%	CRR
3	A-2	CMA-Vacuum	0.32%	$\Delta E/E = \text{const.}$
4	A-3	CMA-Vacuum	0.33%	$\Delta E/E = \text{const.}$
5	A-3	CMA-Vacuum	0.44%	$\Delta E/E = \text{const.}$
6	A-4	CMA-Vacuum	0.47%	$\Delta E/E = \text{const.}$
7	C-1	CMA-Vacuum	0.56%	$\Delta E/E = \text{const.}$
8	A-5	CMA-Vacuum	0.60%	$\Delta E/E = \text{const.}$
9	A-3	CMA-Vacuum	0.68%	$\Delta E/E = \text{const.}$
10	A-6	CMA-Vacuum	0.78%	$\Delta E/E = \text{const.}$
11	A-3	CMA-Vacuum	0.83%	$\Delta E/E = \text{const.}$
12	A-6	CMA-Vacuum	1.0%	$\Delta E/E = \text{const.}$

た後、各試料の測定前に希ガスイオンスパッタリングによる表面清浄化を施した。つぎに、Table 1 に示すような分光器指示エネルギー範囲の $N(E)$ 型スペクトルを、入射電子エネルギー=5 keV、測定ステップ=0.1 eV で測定した。データはすべて計算機によるデジタル測定により取り込み、各データを VAMAS フォーマット¹²⁾のファイルとしてフロッピーディスクに収納し、金属材料技術研究所に送付してもらった。Table 1 中に示した Ni のエネルギー値はフェルミ単位基準で測定された C. J. Powell らの値を参考値として載せたものである¹³⁾。彼らは XPS モードでフェルミ端を測定することによってフェルミ単位基準のピーク位置を報告したのだが、校正された装置の値ではない。

4. 結果および考察

Table 2 に、測定に供した電子分光器を弾性散乱ピークから実測したエネルギー分解能が高い順に並べて示した。それゆえ、番号が小さいものほど高分解能である。特に No. 1 の装置は XPS 装置 (CHA 型電子分光器) に静電収束型電子銃を取り付けたもので、最も高い分解能 (絶対分解能 $\Delta E = 0.25$ eV) で測定した。この装置は、XPS としてすでに $MgK\alpha$ 線を用いて、 $Au 4f_{7/2}$ 、 $Cu 3p$ 、 CuL_{MM} 、 $Cu2p_{3/2}$ 、 $Ag 3d_{5/2}$ 、 AgM_{NN} の光電子ピーク・オージェ電子ピークおよび Ni フェルミ端によってエネルギー軸を校正したものである。こ

の装置でフェルミ単位基準で測定された電子線励起の NiM_{3VV} 、 L_{3VV} 各オージェスペクトルを Fig. 2 に示す。ピーク位置測定に用いた点を矢印で示した。Fig. 2 (a) に示した NiM_{3VV} の場合、全体としてのプロファイルは幅の広い構造を示しているが、ピーク近傍での対称性はあまり良くないことがわかる。この理由は、このピークが厳密には $NiM_{2,3VV}$ であり、 M_{2VV} が高エネルギー側に重畳しているためと考えられる。

Fig. 3 は、各機関から報告された Ni オージェピーク位置 (M_{3VV} 、 L_{3VV}) をフェルミ単位基準の運動エネルギーに直してプロットしたものである。CMA の場合は、測定位置は真空単位基準で報告されるため、便宜的に標準真空単位 (standard vacuum level=4.5 eV) を用いて⁶⁾、仮のフェルミ単位基準へ直した。 NiM_{3VV} の場合、平均値は 60.7 eV、標準偏差 σ は 1.2 eV であった。 NiL_{3VV} の場合、平均値は 847.4 eV、標準偏差 σ は 1.4 eV であった。各データ点には Table 2 に示した対応する機種番号を示した。データ点の分散は大きい、ある規則性をもって分布していた。すなわち、図中に示した傾き 45° の直線近傍に約 3/4 の点が分布していた。これは、 $\sim 75\%$ の点はある定数分のオフセットを測定エネルギー軸に加減するだけで、ほぼ同一のエネルギー値に収束することを示している。

各機関の Au, Cu, Ag の各測定ピーク位置を最小二乗法により 1 次式でフィッティングし、各装置のスペクトロメーターオフセット関数 $W(E_{obs})$ を求めた。その一例として No. 5 の CMA によって測定されたオフ

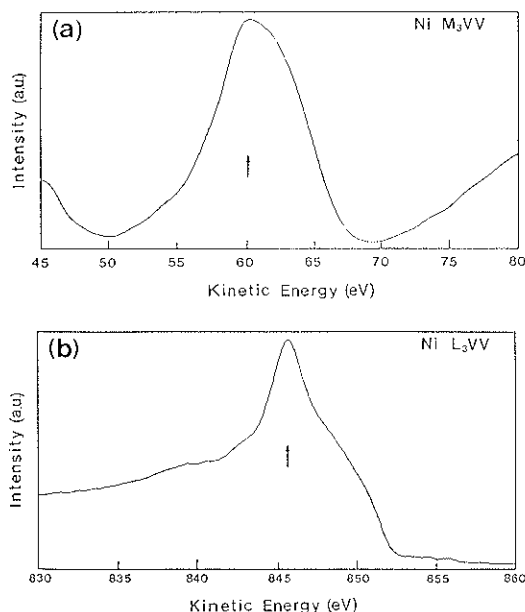


Fig. 2 Nickel Auger spectra measured by a CHA type spectrometer (No. 1).
(a) : $Ni M_{3VV}$, (b) : $Ni L_{3VV}$

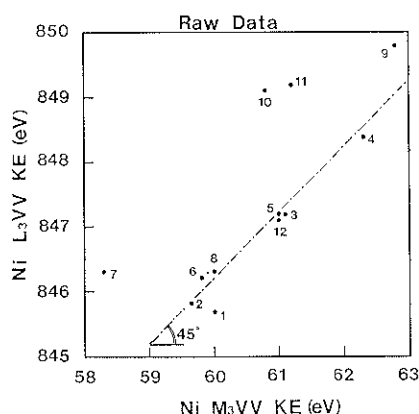


Fig. 3 Youden plot of the responder's reported values for the Fermi level referenced kinetic energies of $Ni L_{3VV}$ and M_{3VV} . In the case of CMA type spectrometers (No. 3~12), the vacuum level referenced values are transformed into the Fermi level referenced ones by using a standard vacuum level (4.50 eV).

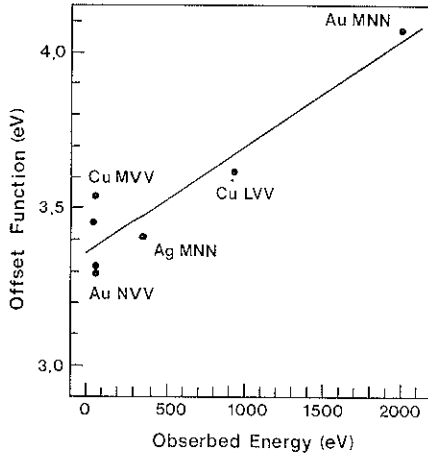


Fig. 4 The spectrometer offset function $W(E_{obs})$ for No. 5 spectrometer. Linear line is least-square fitted to the experimental offsets for the specified Auger peaks.

セット関数の結果を Fig. 4 に示す。CMA の場合、定数 C_0 は分光器の仕事関数（標準値=4.5 eV）に相当するはずであるが、実際には最小 2.2~最大 6.2 eV まで分布していた。これは定数 C_0 に分光器の仕事関数 ϕ_a という物理的な描像はもたせられないことを示している。

つぎに、各機関から報告された NiL_3VV , M_3VV ピークエネルギー値 E_{obs} に対して、おのおのの装置から得られたオフセット関数 $W(E_{obs})$ を用いて補正を行った結果を Fig. 5 に示す。縦軸と横軸のスケールは Fig. 3 と同じにしてあるから、オフセット関数 W の利用によって補正後のピークエネルギー値（フェルミ準位基準）の分散が著しく小さくなったことがわかるだろう。 NiM_3VV の場合、標準偏差 σ は 1.2 eV から 0.2 eV に約 1/6 になった。 NiL_3VV の場合、標準偏差 σ は 1.4

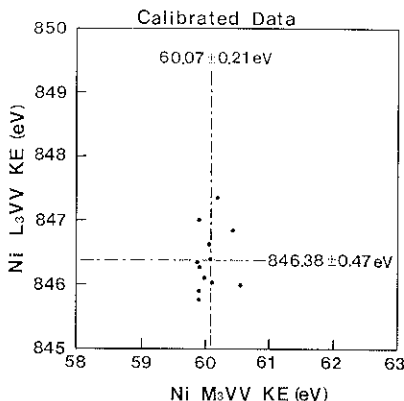


Fig. 5 Plot of the Auger peak positions calibrated by the spectrometer offset functions for NiL_3VV against those for NiM_3VV .

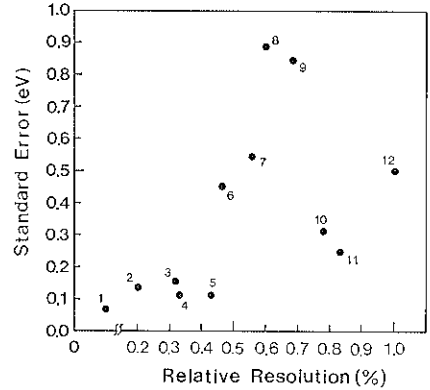


Fig. 6 Plot of the standard errors of least square fitting of spectrometer offset function against the relative energy resolutions of the respondee's spectrometers. Note that No. 1 is exceptional and has absolute resolution of 0.25 eV.

eV から 0.5 eV に約 1/3 になった。

また、データを詳細に検討した結果、装置の分解能と最小二乗法によるフィッティングの有効度との間には相関性があることが判明した。フィッティングが適切に行われたかどうかの判定は、測定したデータ点を 1 次式にフィッティングする際の最小二乗法の計算から得られる標準誤差 (standard error) $SE^{14)}$ という尺度を用いた。これは次式で定義される。

$$SE = \sqrt{\frac{S}{p-m-1}} \quad (5)$$

ここで S は残差の 2 乗和、 p はデータの個数、 m は多項式の次数を示す。これはフィッティングした 1 次式とデータ点との一致の度合いを示す尺度であり、値が小さいほど良好なフィッティングが行われたことを示している。

Fig. 6 は最小二乗近似で得られた各装置の標準誤差 SE と各分光器の相対エネルギー分解能との相関を示したものである。No. 1 の機種のみは FAT モード（絶対分解能=0.25 eV）で測定されている。Fig. 6 より明らかに、分解能が良い機種ほど標準誤差 SE も小さくなる傾向が認められる。分解能の良い上位 5 機種はすべて標準誤差が 0.2 eV 以下に納まっていた。つまり、スペクトロメーターオフセット関数を用いる簡易校正方法は分解能の良い分光器に、より有効であるといえる。

Fig. 7 は補正された NiL_3VV ピーク位置と標準誤差 SE との関係を示したものである。全部のデータを用いた場合では標準偏差 $\sigma=0.5$ eV であったが、比較的高分解能機すなわち標準誤差 SE が 0.2 eV 以下の

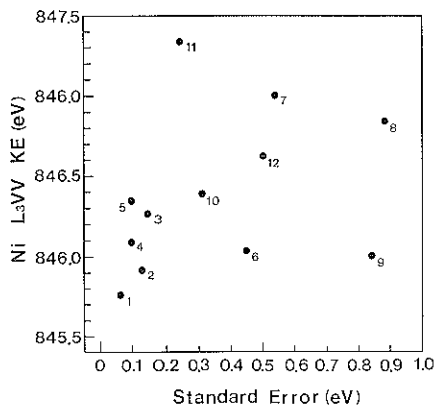


Fig. 7 Plot of the standard errors of least square fitting of spectrometer offset function against the calibrated Auger peak positions for Ni L₃VV.

機種 (No. 1~5) に限った場合、 $\sigma=0.2$ eV とさらにデータの分散を半減できることがわかる。つぎにピーク位置との関係を考える。NiL₃VV のピーク位置の全機種の平均値は 846.4 eV であったが、SE が 0.2 eV 以下の機種のピーク位置の平均は 846.1 eV と低エネルギー側へシフトする。また、Fig. 7 のプロットを注意深く見れば、SE が大きくなるほど (分解能が大きくなるほど) ピーク位置が高くエネルギー側へシフトする傾向にあることがわかる。つまり、装置のエネルギー分解能と NiL₃VV ピーク位置に相関があるといえる。Fig. 2(b) に示した NiL₃VV のプロファイルは、測定ピーク位置の高エネルギー側にショルダーピークの構造がある。このため、装置のエネルギー分解能が低下すると高エネルギー側のショルダーピークの影響を受けて測定ピーク位置は高エネルギー側へシフトするものと考えられる。

同様に、補正された Ni M₃VV ピーク位置と標準誤差 SE との関係を図 8 に示す。全部のデータを使用した場合には標準偏差 $\sigma=0.2$ eV であったが、比較的高分解能機 (No. 1~5) に限った場合、 $\sigma=0.1$ eV と半分にできる。また、NiM₃VV のピーク位置の全機種の平均値は 60.1 eV であったが、SE が 0.2 eV 以下の機種に限定すると、ピーク位置の平均は 59.9 eV と低エネルギー側へシフトする。また、Fig. 8 のプロットから、SE が大きくなるほど (分解能が大きくなるほど) ピーク位置が高エネルギー側へシフトする傾向にあることがわかる。つまり、この場合も装置のエネルギー分解能とピーク位置に相関があるといえる。これは、Fig. 2(a) に示した NiM₃VV のプロファイルのピーク近傍での非対称性に起因すると考えられる。すなわち、ピー

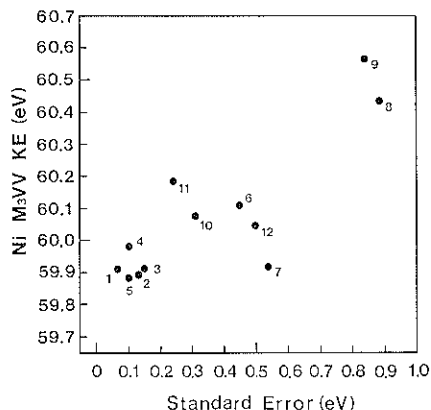


Fig. 8 Plot of the standard errors of least square fitting of spectrometer offset function against the calibrated Auger peak positions for Ni M₃VV.

ク最大点は低分解能になるほどプロファイル全体としての重心位置、すなわち高エネルギー側へ若干シフトするものと考えられる。

以上の結果は、比較的高エネルギー分解能で標準誤差の小さな装置を用いた場合、よりピーク位置に関するデータのばらつきを小さくできること、すなわち、より信頼性の高い測定ができることを示している。

5. ま と め

厳密な装置の校正を行うことなく AES 装置のエネルギー軸を校正するために、スペクトロメーターオフセット関数を用いた新しい実用的な簡易校正方法を考案した。この簡易校正方法のラウンドロビン試験を行うことによって、以下のような知見が得られた。

- 1) 真空単位基準の AES 装置の場合、より普遍的なフェルミ準位基準の運動エネルギー軸が得られる。
- 2) エネルギー軸の校正が行われ、その程度がある具体的な精度 (標準誤差 SE) で評価できる。
- 3) 12 台の AES 分光器で測定した Ni の L₃VV および M₃VV オージェピークのエネルギー位置の校正前後の分散を比較した結果、標準偏差 σ で評価して 1/6~1/3 程度にピーク位置の分散を減少できることが判明した。
- 4) 相対エネルギー分解能の良い機種ほど標準誤差が小さくなる傾向があり、データの分散をより小さくできる。

これらの結果から考えて、本方法は厳密な校正を簡略化した校正方法であるが実用的な効果は大きいといえる。また、簡易な手法であるため多くの機関で容易に実行できることから、今後のスペクトルデータベースの構築における標準の校正方法となると期待できる。なお、スペクトルデータベースに登録できるエネルギー軸の簡

易校正結果の報告仕様としては現時点ではつぎのように提案できる。すなわち, "Au, Cu, Ag の試料を用いて測定分光器のスペクトロメーターオフセット関数 $W(E_{obs})$ を求め, その2個の係数 (C_0, C_1) および標準誤差 SE の三つのパラメーターを報告すること。"

データベースに登録されるべきスペクトルは, そのスペクトロメーターオフセット関数の有する標準誤差 SE が小さいものほど望ましい。今回の結果から考えて, 標準誤差の上限としては 0.2 eV 以下程度であろうと思われる。また, SE の値によってデータのランク付けを行うことも可能である。なお, 本方法はより多くの校正ピーク位置を加えることによって信頼性の向上が望める。上記の物質以外にも校正されたピークを提供することが望ましいが, これは今後の課題といえる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり, 有益な討論を賜った VAMAS-SCA-JAPAN 委員会の各委員, ラウンドロビンテストに協力していただいた各機関の皆様に謝意を表したいと思います。本ラウンドロビンにご協力いただいた機関, 研究者は以下のとおりです。

藤田大介 (著者, 金属材料技術研究所), 水野薫氏 (新日本製鉄(株), 解析科学研究部), 名越正泰氏 (NKK(株), 鉄鋼研究所), 笠村秀明氏 (材料科学技術振興財団), 本間芳和氏 (NTT(株), 境界領域研究所), 竹内光一氏 (日本 IBM(株), 野州工場), 小泉光生氏 (三菱マテリアル(株), 中央研究所), 塩沢一成氏 (三井石油化学工業(株), 新技術開発センター), 堂前和彦氏 ((株)豊田中央研究所, ミクロ解析研究室), 降屋幹男氏 (神奈川高度技術支援財団, 高度計測センター), 丸山達

哉氏 ((株)富士ゼロックス, 分析センター), 以上。

文 献

- 1) C. J. Powell, N. F. Erickson and T. E. Madey: J. Electron Spectrosc. **25**, 87 (1982).
- 2) C. J. Powell: Surf. Interface Anal. **11**, 103 (1988).
- 3) C. J. Powell and M. P. Seah: J. Vac. Sci. Technol. **A 8**, 735 (1990).
- 4) M. T. Anthony and M. P. Seah: Surf. Interface Anal. **6**, 95 (1984).
- 5) M. P. Seah, G. C. Smith and M. T. Anthony: Surf. Interface Anal. **15**, 293 (1990).
- 6) S. W. Gaarenstroom: Appl. Surf. Sci. **26**, 561 (1986).
- 7) C. Jansspn and P. Morgen: Surf. Sci. **233**, 84 (1990).
- 8) K. Yoshihara, M. Yoshitake and the VAMAS-SCA Community: Surf. Interface Anal. **18**, 724 (1992).
- 9) M. P. Seah and G. C. Smith: Surf. Interface Anal. **15**, 309 (1990).
- 10) M. P. Seah and G. C. Smith: "Practical Surface Analysis: Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopies" (ed. by D. Briggs and M. P. Seah, Wiley, Chichester, 1990) p. 537.
- 11) 志水隆一, 吉原一紘編: "実用オージェ電子分光法" (共立出版, 1989) p. 200.
- 12) W. A. Dench, L. B. Hazel, M. P. Seah and the VAMAS-SCA Community: Surf. Interface Anal. **13**, 63 (1988).
- 13) C. J. Powell, N. E. Erickson and T. Jach: J. Vac. Sci. Technol. **20**, 625 (1982).
- 14) 刀根 薫: "BASIC" (培風館, 1981) p. 109.