

# 電子エネルギー分析器コムストック AC-900 シリーズ

## Spherical Sector Electrostatic Energy Analyzer - Comstock AC-900 Series

吉田 弘幸<sup>a,b</sup>, 大津 彰良<sup>c</sup>

Hiroyuki Yoshida and Akiyoshi Otsu

### 1. はじめに

電子分光, 荷電粒子エネルギー分析, 電子エネルギーフィルターなどに, 幅広く使える小型で安価なコムストック社 (Comstock Inc.) のエネルギー分析器を紹介する。最近, 単体のエネルギー分析器はほとんど市販されておらず, 光電子分光装置や高分解能電子エネルギー損失分光装置などに組み込まれた製品がほとんどである。これらの装置は, 用途が限定される上に, 多くが 1000 万円以上と高価である。これに対して, 本製品はエネルギー分析器本体価格が 100 万円~と安価で, 電子レンズや検出器などの周辺部品も充実しているため, 表面分析, 原子分子科学, ビームやプラズマ診断などの幅広い応用が可能である。新しい実験原理を試したり, 限られた予算で測定を行いたい研究者にとっては, たいへん有用であろう。

コムストック社は, アメリカの物理学者, Robert N. Compton と John A. D. Stockdale によって 1979 年にテネシー州オークリッジに設立された。株式会社サイエンスラボラトリーズが日本の総代理店である<sup>1</sup>。

### 2. 製品紹介

本製品は, Figure 1 のような静電半球型エネルギー分析器 (spherical sector analyzer) である。同心球面から切り出した形状の 2 枚のセクター電極に, サイドプレート, エンドプレート, アパーチュアが取り付けられている。電極は無酸素銅製で, サファイアボールにより絶縁をとりつつ精密に位置決めしている。450°C までのベーキングが可能である。

平均球半径が 18.3 mm から 127 mm まで 5 種類の製品がある。このうち中心になるのは, 平均球半径 36.5 mm の AC-901 であろう。セクター電極の角度は 160° に最適化さ

れている。小型であるため, フランジサイズが CF254 (取り付けパイプの外径が約 200 mm) 程度の真空槽に組み込むことができる。アパーチュアは, 穴径が 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm の 3 種類が付属しており, 分解能と明るさを調整することができる。仮にアパーチュア径を 1.0 mm, 分析器の透過エネルギーを 20 eV とすれば, 電子に対してのエネルギー分解能は約 160 meV になる。

この分析器を使用するには, 荷電粒子を収束, 加速・減速するための電子レンズ, ファラデーカップやマイクロチャンネルプレートなどの検出器, 磁気シールドや電源などが必要である。これらの専用の周辺機器も同社より販売されている。

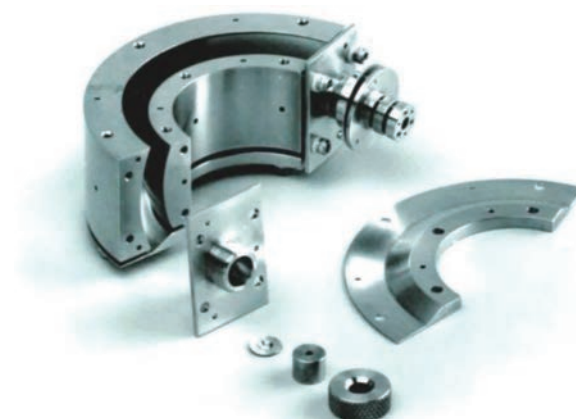


Figure 1. 電子エネルギー分析器 (コムストック AC-901)

### 3. 応用例

#### 3.1 電子の運動エネルギー分析

この分析器を, 単色光源と組み合わせれば光電子分光, 電子銃と組み合わせればオージェ電子分光が測定できる。ここでは, 筆者が低速電子源を開発する際に, 電子の運動エネルギー分布を評価した例を示す。実験の概略を Figure 2a に示す。-20V の電圧を印加した陰極から放出された電子を, エネルギー分析器に導入し, ファラデーカップによって検出した。

走査型電子顕微鏡用のタングステン陰極からは, Figure 2b のように 19.5 eV を中心に半値幅 0.56 eV の電子線が得ら

<sup>a</sup> 京都大学化学研究所

連絡先 〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

電子メール yoshida@e.kuicr.kyoto-u.ac.jp

<sup>b</sup> JST さきがけ

連絡先 〒 332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8

<sup>c</sup> 株式会社サイエンスラボラトリーズ

連絡先 〒 270-0021 千葉県松戸市小金原 7-10-25

電子メール otsu@scilab.co.jp

れた。熱陰極から得られる電子線のエネルギー幅は絶対温度  $T$  に比例し  $2k_B T$  ( $k_B$  はボルツマン定数) で近似できる。タングステン陰極の動作温度は、 $T = 2600$  K であるから、この分解能は妥当な値である。

これに対して、カーボンナノチューブを冷陰極に用いた場合の測定値を Figure 2c に示す。電子のエネルギー分布の半値幅は  $0.7$  eV 程度でタングステン陰極とほぼ同じであった。しかし、運動エネルギーは、中心エネルギーが時間とともに  $13 \sim 14$  eV の間で不規則に変化し、これにともなって電子線の強度も変化した。これは、カーボンナノチューブの表面に複数の電子放出点があり、場所によって放出される電子のエネルギーが異なるためであろう。カーボンナノチューブを電子源に使うには、安定性に注意が必要であることがわかった。

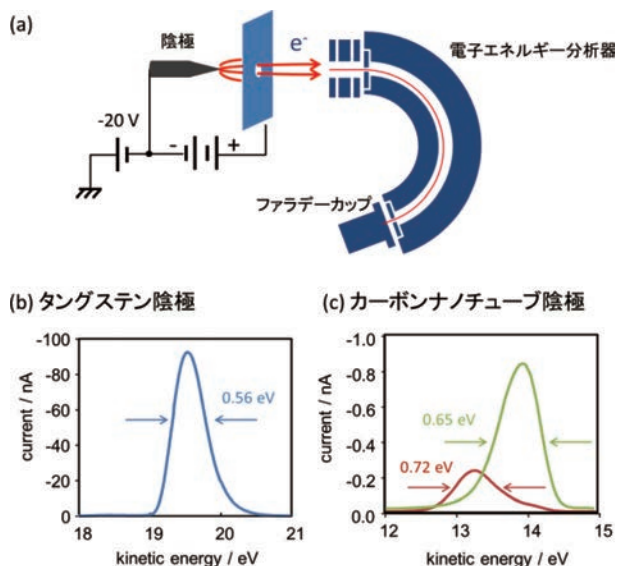


Figure 2. 電子エネルギー分析器を用いた電子源のエネルギー分解能評価。実験装置の概略 (a) とタングステン陰極 (b)、カーボンナノチューブ陰極 (c) の電子エネルギー分布。

### 3.2 単色化電子線源

エネルギー分析器 AC-901 を電子のモノクロメータとして使用すれば、エネルギー分布の極めて小さい電子線源が実現できる。コムストック社からは Figure 3 のようなタングステン陰極を使った専用の電子銃 EG-401 が販売されており、 $C_{60}$  などの気相分子のイオン化断面積や電子付着断面積が測定されている<sup>2</sup>。この実験では、電子エネルギー分析器や電子レンズの電極表面にコロイダルグラファイトを塗布し、注意深く外部磁場を遮蔽することで、 $0.05$  eV のエネルギー分解能で  $10$  nA の電子線が得ている。

筆者は、固体表面への電子照射による発光を検出するため、EG-401 のタングステンフィラメントを酸化バリウムカソードに置き換えた電子銃を同社と共同開発をすすめて

いる。

なお、エネルギー分析器を電子源として使う場合の原理や動作条件については、文献<sup>3</sup>に詳しく記述されている。

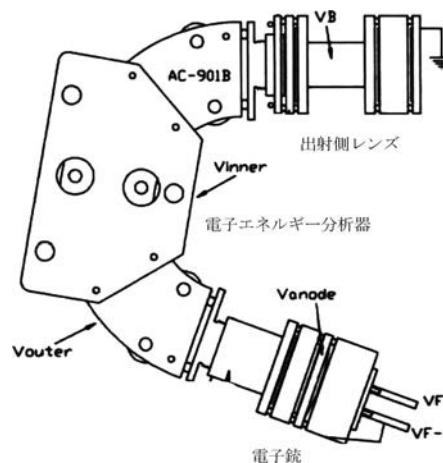


Figure 3. AC-901 に電子銃を搭載した高エネルギー分解能電子線源

### 4. まとめ

本稿では、コムストック社のエネルギー分析器を紹介した。電子やイオンなどの荷電粒子のエネルギー分析とエネルギーフィルターとして幅広く使用でき、工夫次第で様々な応用が可能である。たとえば、荷電粒子をパルスで導入することで、エネルギーと質量を同時計測することもできる<sup>4,5</sup>。

説明書には、使用法だけでなく動作原理から分解・組立について詳しく解説されている。またアライメント用の穴をあけてくれるなど、改造や技術的な相談にも応じてくれる。必要に応じて図面を提供してくれることもある。実験装置の自作ができる研究者向けの装置といえよう。

### 謝辞

本稿で紹介した実験データは、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ研究でえられたものである。

### 引用文献

- (1) <http://www.scilab.co.jp/>
- (2) Mirsaleh-Kohan, N.; Robertson, W. D.; Compton, R. N. *Mass Spectrometry Rev.* **2008**, *27*, 237–285 (Fig. 23 には本製品を用いた実験の図がある)。
- (3) Simpson, J. A. *Rev Sci Instrum.* **1964**, *35*, 1698–1704.
- (4) Warmack, R. J.; Stockdale, J. A. D.; Compton, R. N. *Int. J. Mass. Spec. Ion Phys.* **1978**, *27*, 239–247.
- (5) Compton, R. N.; Miller, J. C.; Carter, A. E.; Kruit, P. *Chem. Phys. Lett.* **1980**, *71*, 87–90.

(受理日 2012年2月9日)