

## 回 転 楕 円 ミ ラ ー 型 電 子 分 光 器 の 開 発

Development of an Ellipsoidal Mirror-type Electron Spectrometer

加 藤 宏\*・岡 野 達 雄\*\*

Hiroshi KATO and Tatsuo OKANO

## 1. 目 的

近年、放射光の高エネルギー化と高輝度化によって、従来では不可能であったような物理測定が可能となってきた。新たに拓かれた研究分野の内、核共鳴 X 線散乱は、物理的には同位体  $\gamma$  線源を利用したメスバウアー分光法と本質的には同一の現象であるが、放射光を利用することにより、同位体  $\gamma$  線源を用いた実験に比べてより広範な核種を対象として実験を行うことが可能となったばかりか、放射光の短パルス特性、エネルギー可変性、ビームの指向性などの特徴を活かした新しい応用が期待されている<sup>1)</sup>。1997 年度の後半からは、科学技術庁による Spring-8 の施設利用が開始され、従来の高エネルギー加速器科学研究機構の AR ビームラインに加えて、核共鳴 X 線散乱実験を推進する環境がさらに整ってきた。

当研究グループでは、核共鳴 X 線散乱に付随する内部転換電子の放射現象に注目して、必要な装置開発に取り組んでいる。内部転換電子放射は、励起核から放出されるエネルギーにより内殻電子が放射される過程であり<sup>2)</sup>、固体表面や材料界面を研究する手法として、次のような特徴を持つ。

- (1) 固体表面・界面に局在する原子スケールの電磁場を解明することができる
- (2) 1 meV の分解能で表面界面の素励起を観測することができる
- (3) 内殻準位の超高分解能電子分光測定を実現できる。

我々は、14.4 keV のパルス放射光により共鳴励起された  $^{57}\text{Fe}$  原子からの K 殻内部転換電子放射を当面の測定対象と考へ、内部転換電子放射の時間分解電子分光測定を行うための装置開発を進めた。

\*三菱電機(株)

\*\*東京大学生産技術研究所 第 1 部

## 2. 装置の全体概要

内部転換電子の時間分解分光装置の開発にあたっては次の条件が満足されることを目標とした。

- (1) 励起源である単バンチ放射光のパルス幅 (100 ps) 以下の時間分解能
- (2) 微弱な内部転換電子放射を有効に検出するための高い収集効率
- (3) 内部転換電子を選別するため 100 eV 程度のエネルギー分解能

これらの条件を満たすものとして、我々は図 1 に示すような回転楕円ミラーと電子直射型ストリークカメラを組み合わせた装置の開発を進めた。静電楕円ミラーを利用した電子分光器としては、同位体線源を励起源とした内部転換電子放射実験のために久武らが開発したものが既に報告されているが<sup>3)</sup>、我々のデザインは放射光を試料表面に照射する際の幾何学配置を容易化するために、放射電子を検出器と反対側に放射させる点が、久武らのものと異なっている。設計された回転楕円ミラー型電子分光器の特徴は、次のとおりである。

- (1) 回転楕円ミラーを用いることにより、回転楕円体の第 1 焦点上に置かれた試料表面から  $2\pi$  の立体角に放射された電子すべてを、第 2 焦点上に結像させることができる。
- (2) 第 1 焦点と第 2 焦点の電子の飛行距離は放射角によらず一定であるため、飛行時間差が原理的に生じない。
- (3) 回転楕円ミラー部 (2 枚の金網で構成される) は、一定エネルギーよりも低い電子のみを反射し、第 2 焦点に中心を持つ球面グリッド部 (3 枚の金網で構成される) は一定のエネルギー以上の電子を通過させることができるため、全体としてバンドパス型の

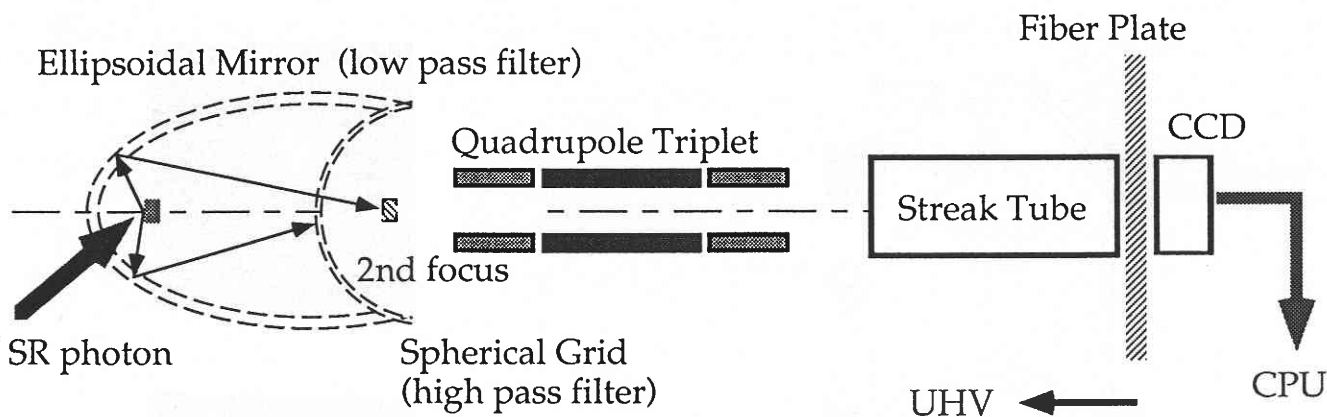


図1 放射光励起による内部転換電子放射実験装置の概要

エネルギー選別が可能となる。

### 3. 回転楕円ミラー型電子分光器の製作と試験

設計された回転楕円面の長径は 150 mm, 短径は 90 mm, 第1焦点と第2焦点の間隔は 120 mm とした。回転楕円ミラーを構成する二重金網部での電子軌道解析を行った結果を図2に示す。内側の回転楕円面の長径と短径は、各々、

80 mm と 52.9 mm である。図2(a)は、二重金網の間隙部分、図2(b)には第2焦点近傍での電子軌道である。第2焦点位置での電子の収束は直径 1.2 mm の範囲に収まっており、検出器入口の寸法に比べて十分に小さいことから実用的には支障がないことが判った。二重金網部での電子軌道の差異により、第2焦点までの飛行時間には差異が生じるが、7.3 keV の内部転換電子の場合に軌道解析から求めた飛行時間の分散は 0.12 ns となり、時間分解測定に十分な性能があることが判った。

エネルギー分析器に必要な金網の製作は、メッキ法によった。所定の形状のテフロン製型枠を数値制御旋盤で製作し、この型枠に金網を固定した状態で金メッキを施すことにより形状を固定した。成形された金網は、へり付のステンレスリングと留め輪の間に挟んでからスポット溶接した。

回転楕円ミラー型電子分光器の動作試験を図3に示す配置で行った。内部転換電子放射を模擬するために、負電位にバイアスされたTV用電子銃から引き出した熱電子を回転楕円ミラーの第1焦点位置に置かれたアルミ線に照射し、アルミ線により弾性散乱された電子の収束特性を調べた。電子銃としては、市販の12インチモノクロブラウン管用のものを使用し、電子銃先端には、内径6mmのステンレス管をシールドケースとして取り付けた。回転楕円ミラーの第1焦点に置いたアルミ線の直径は 0.5 mmφ とし、図の紙面垂直方向に固定されている。一方、回転楕円ミラーの第2焦点位置には、二次電子増倍板(MCP)を電子検出器として取り付けた。MCPは直径45mmのものを用い、収束スポット形状の観察に十分な寸法がある。

観察された第2焦点位置での収束スポット形状を図4の(a)-(d)に示す。電子銃のカソード電位を -2.5 kV に設定し、2.5 kV の電子の収束特性を観察している。球面金網の

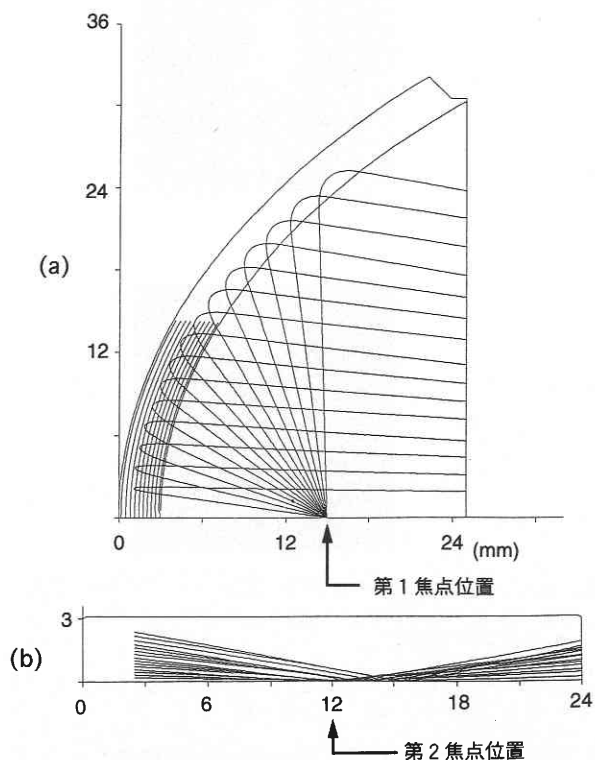


図2 回転楕円ミラー型電子分光器の収束特性の解析。(a) 第1焦点付近、(b) 第2焦点付近。

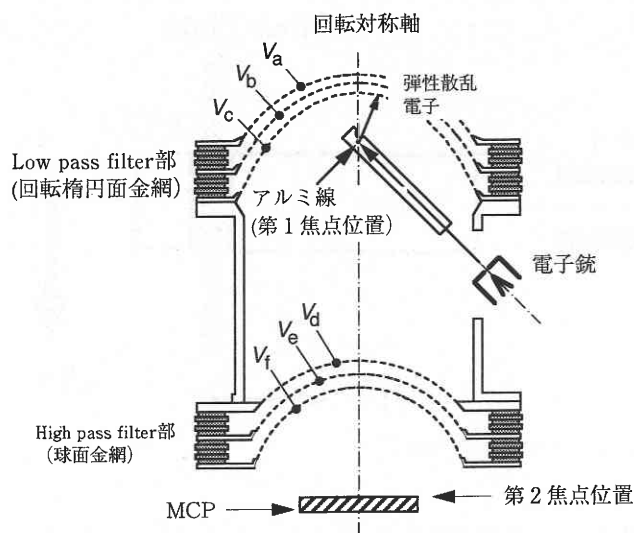


図3 回転楕円ミラー型電子分光器の性能確認実験. エネルギーフィルター電極電位  $V_c$  を変えた時の収束特性を観測した. 第1焦点に置かれたアルミ線により散乱される電子のエネルギーを 2.5 keV とした.  $V_a = V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = 0$ .

中心電極電位 ( $V_c$ ) を変化させた時のスポット形状を(a)–(d)に示す. エネルギー選択を行わない (a) では, スポット形状が広がっているのに対し, 十分なエネルギー選別を行っている(d)においては, 直径7 mm に収束していることが明かであり, この電子分光器の広い立体角での収束特性が確認できた.

#### 4. ま と め

放射光により励起された内部転換電子放射を研究するための回転楕円ミラー型電子分光器を開発し, 機能することを確認した. 一定エネルギーの電子のみを選別することにより, 第2焦点位置に直径約7 mm の範囲内に電子を収束できることが分かった. 時間分解測定を実現するためには, MCPより時間応答特性が早く, 出力パルス幅の短い検出器が必要であるが, 現在, アバランシェフォトダイオード (APD) による高速電子検出器の開発を並行して進めている. 今後は, APD および電子直射ストリークカメラと組み合わせ, 内部転換電子放射の実験に用いる予定である.

#### 謝 辞

本研究の実施に寄せられた東京大学工学系研究科菊田惺志教授の支援に感謝いたします. 本研究の一部は科学研究費補助金によってなされた.

(1998年1月27日受理)

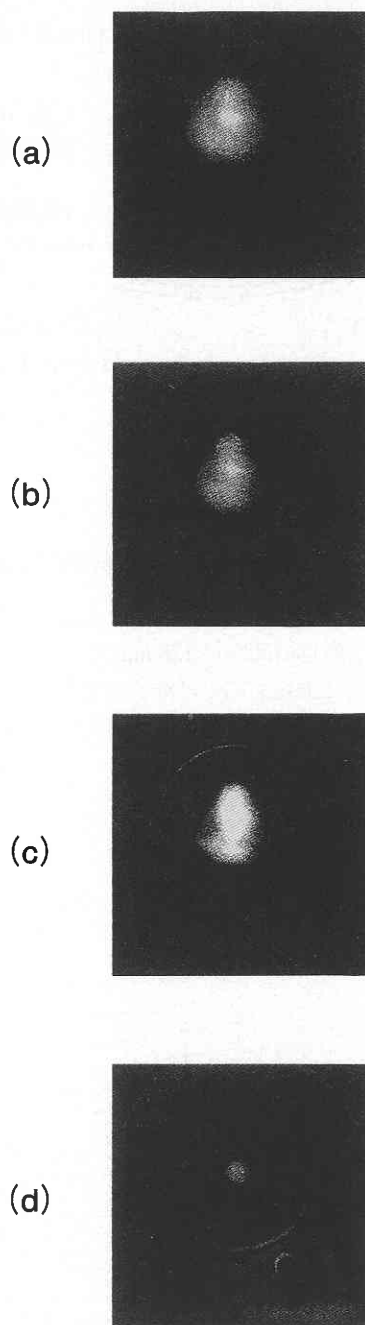


図4 第2焦点位置に置かれたMCPで観測された電子収束特性. (a)  $V_c = 0$  V, (b)  $V_c = -1$  kV, (c)  $V_c = -2$  kV, (d)  $V_c = -2.5$  kV.

#### 参 考 文 献

- 1) 菊田, 応用物理, 62巻7号, (1993) pp. 683-690.
- 2) 那須, 日本応用磁気学会誌, 13巻1号, (1989) pp. 38-42.
- 3) T. Toriyama, K. Saneyoshi and K. Hisatake: J. de Physique C2 40 (1979) 14.