

### 3A13

## 電子運動量分光の超高感度化：波動関数形の精密分光を目指して

(東北大多元研<sup>1</sup>, フランクフルト大<sup>2</sup>) ○山崎優一<sup>1</sup>, 佐藤弘典<sup>1</sup>, D. B. Jones<sup>1</sup>,  
浅野佑策<sup>1</sup>, 渡邊昇<sup>1</sup>, A. Czasch<sup>2</sup>, O. Jagutzki<sup>2</sup>, R. Dörner<sup>2</sup>, 高橋正彦<sup>1</sup>

【序】 電子運動量分光 (Electron Momentum Spectroscopy; EMS) [1, 2]は、電子線コンプトン散乱を用いて分子軌道ごとの電子運動量分布 (運動量空間波動関数の二乗) を観測する手法であり、これまで物質の電子構造に関する多くの研究が展開されてきている。近年の画像観測型 EMS 装置の開発[3, 4]により検出効率は大幅に改善されてきてはいるものの、本過程の散乱断面積は極端に小さいため、より進んだ研究を展開する目的には更なる桁違いの検出効率の向上が必須である。そこで本研究では、大型の位置敏感型二次元検出器 1 台により同時計測を行う新しい画像観測型 EMS 装置を製作し、既存のマルチチャンネル型装置[4]と比較して大幅な検出効率の向上を達成したので報告する。

【実験】 EMS 実験では高速電子衝撃イオン化 ( $e_0^- + M \rightarrow M_i^+ + e_1^- + e_2^-$ ) で生成する非弾性散乱電子と電離電子のエネルギー  $E_1, E_2$  と運動量  $p_1, p_2$  を同時計測法により測定する。既知の入射電子のエネルギー  $E_0$  と運動量  $p_0$  を用いて、散乱前後のエネルギー保存則と運動量保存則からイオン化エネルギー  $E_{\text{bind}}$  と生成イオンの反跳運動量  $q$  を同時に決定できる。

$$E_{\text{bind}} = E_0 - E_1 - E_2, \quad q = p_0 - p_1 - p_2$$

大きな移行運動量を伴うコンプトン散乱条件下において、散乱過程は入射電子と標的電子の二体衝突として記述され、生成イオンは傍観者として振る舞う。このため、電離電子がイオン化前に持っていた運動量  $p$  は、生成イオンの反跳運動量を用いて  $p = -q$  で与えられる。以上の関係を用いることで、EMS ではイオン化状態を特定した上で、標的電子の運動量分布を測定することができる。

図 1 に、本分光装置の概略図を示す。実験は symmetric noncoplanar 配置で行った。この配置では、電子衝撃イオン化で生成した非弾性散乱電子と電離電子のうち、エネルギーが相等しく ( $E_1 = E_2$ )、入射電子ビーム軸に対してともに  $45^\circ$  方向 ( $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$ ) に放出されたものを同時計測する。このとき、標的電子の運動量の大きさは、検出二電子間の方位角差  $\Delta\phi$  を用いて、

$$p = \sqrt{(p_0 - \sqrt{2}p_1)^2 + [\sqrt{2}p_1 \sin(\Delta\phi/2)]^2}$$

で与えられる。本分光装置ではマイクロチャンネルプレー

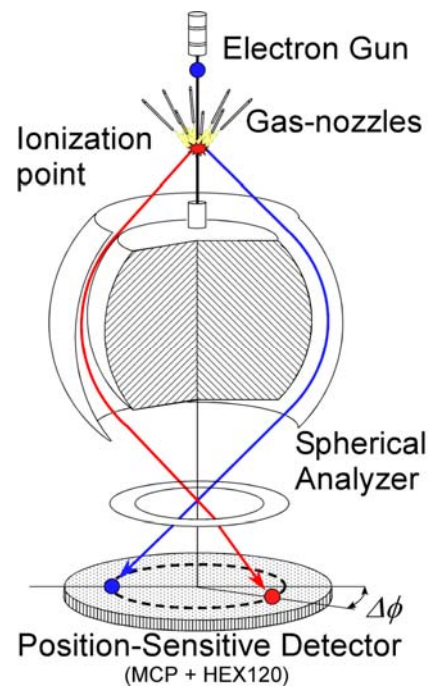


図 1 本装置の概略図。

トとマルチヒット対応のディレイライン型二次元検出器 (RoentDek, HEX120 [5]) を用いることで、検出可能な方位角範囲が $\phi = 10^\circ \sim 170^\circ, 190^\circ \sim 350^\circ$ とほぼ全方位角  $2\pi$  に亘って二電子を検出する。これにより、既存の装置 ( $\phi = 70^\circ \sim 110^\circ, 250^\circ \sim 290^\circ$ ) と比較して、検出効率の桁違いの向上のみならずカバーする運動量領域も大幅に広がる。

【結果と考察】 図 2 に、本装置で得られた Ne の 2s および 2p 軌道の電子運動量分布を、従来の装置[4]で得られたデータおよび歪曲波ボルン近似 (DWBA) による理論計算の結果と比較して示す。図 2 から、定量的な電子運動量分布を得ることに成功したことが見て取れる。入射電子強度やデータ積算時間等を考慮して検出効率を見積もったところ、従来の装置[4]と比べて本装置では少なくとも 10 倍の検出効率の向上を確認した。また図 2 から明らかのように、測定可能な運動量領域も格段に広げることになった。現在は、本装置の高い性能をさらに示すべく、これまでは不可能であった水素分子の電子運動量分布に現れる bond oscillation [2] の観測を試みている。

本装置の開発により、波動関数形の精密分光を目指した電子運動量分光の基盤を築くことができた。今後は、クラスターやラジカルなどの微量化学種を対象とした EMS、単色電子銃を用いた超高分解能 EMS、イオン画像観測法と組み合わせた高感度分子座標系 EMS [6]、および超短パルスレーザーと電子銃を用いた時間分解 EMS などへの展開が可能になると期待している。

#### 【参考文献】

- [1] M. Takahashi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **82** (2009) 751.
- [2] E. Weigold and I. E. McCarthy, *Electron Momentum Spectroscopy* (Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 1999).
- [3] M. Takahashi *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **73** (2002) 2242.
- [4] M. Takahashi *et al.*, *J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom.* **141** (2004) 83.
- [5] <http://www.roentdek.com>
- [6] M. Takahashi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **94** (2005) 213202.

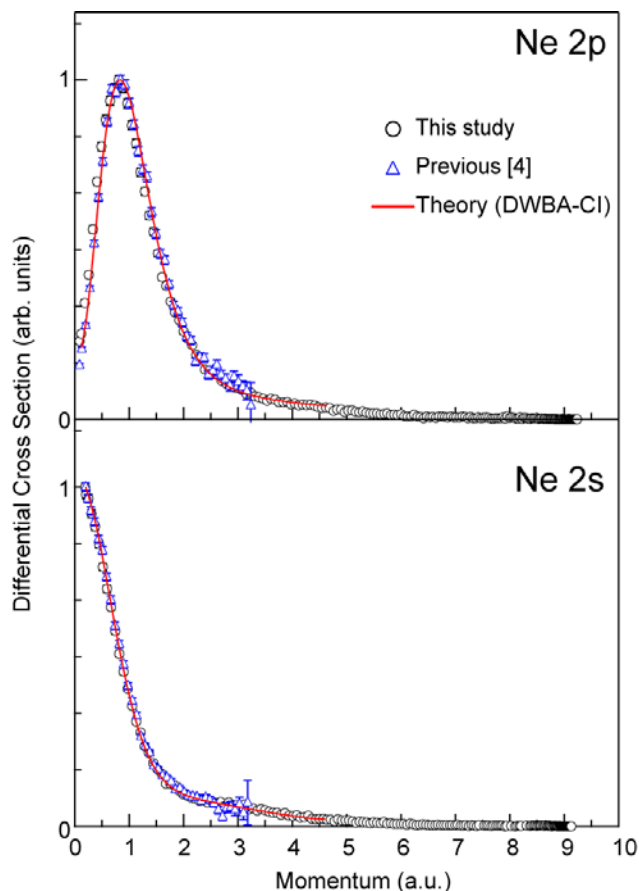


図 2 Ne の 2p および 2s 軌道の電子運動量分布。白丸は本装置による実験データ、△は従来の装置[4]による実験データ、実線はDWBAによる計算結果。