

共同利用研究ハイライト

磁気ボトル型電子エネルギー分析器による多電子同時計測

彦坂 泰正 富山大学大学院医学薬学研究部 (薬学) 教授

1. はじめに

原子や分子の軟X線領域の光吸収では、内殻電子の励起やイオン化とそれに引き続くオージェ過程によって、複数の電子が放出される。このような多電子放出過程を詳細に理解するためには、放出される全ての電子の運動エネルギーを分析し、それらの間のエネルギー相関を観測することが不可欠である。磁気ボトル型電子エネルギー分析器は、電子捕集効率が極めて高い電子分光手法であり、この利用によって、従来よりも格段に良好な多電子同時計測を行うことが可能となった。これまでに、希ガスや簡単な分子の多電子放出過程への多電子同時計測の適用によって、多電子放出のメカニズムとダイナミクスに関しての多くの進展が得られ

ている^[1]。

2. 磁気ボトル型電子エネルギー分析器

図1に磁気ボトル型電子エネルギー分析器の概念図を示す。光イオン化で放出された電子は、永久磁石とソレノイドコイルによりイオン化領域周辺に形成された不均一磁場によって全立体角にわたって捕集される。実際、500eV以下の電子に対する検出効率は、MCP検出器の検出感度(60%程度)によってほぼ決定されており、磁場による捕集の取りこぼしは見られない。ただし、電子の運動エネルギーは飛行時間分析により決定するため、一般的な静電型電子エネルギー分析器に比べてエネルギー分解能は見劣りする。この装置では1.5mもの長い飛行区間を設けてい

るものの、それでも単純に飛行させることにより得られる $E/\Delta E=35$ の分解能は軽元素からのオージェ電子のスペクトル構造を観測するには物足りない。そのため、エネルギー分解能の向上を得るため、飛行管内に阻止電場機構を導入している^[2]。阻止電場の印加により飛行管の入口付近で電子を減速して飛行時間を伸長し、高速電子に対する分解能の大幅な向上を得ることが可能となった。

図2は、Arの2p内殻イオン化による同時計測収量を光電子エネルギー(縦

軸)とオージェ電子エネルギー(横軸)に対して2次元プロットしたものである。阻止電場無し(図2a)では幅広いピークとして見られている $2p^{-2}$ と $2s^{-2}$ のオージェ終状態は、180Vの阻止電場の印加(図2b)によりそれらの異なる電子状態を明確に分離できている。この阻止電場による電子捕集効率の減少は観測されず、良好なエネルギー分解能での高効率の多電子同時計測が実現できている。

3. 凝集系水分子に対する同時計測

最近、私たちは、気相原子・分子だけでなく、固体試料への多電子同時計測の適用を開始した。固体試料に対する多電子同時計測は、表面吸着分子の化学状態分析手法のひとつになると期待している。つまり、固体表面に吸着した分子の内殻電子の結合エネルギーは化学的環境に応じたシフトを示すため、内殻光電子の識別により内殻空孔を生じた原子の置かれているサイトを決定することができる。内殻光電子との同時計測でフィルターを掛けると、その特定の原子サイト近傍の価電子構造を反映したオージェ電子スペクトルを抽出できるはずである。

固体試料に対する磁気ボトル型電子エネルギー分析器の適用可能性を探る目的で、銅表面に凝集させた水分子に対する多電子同時計測を行った。図1のイオン化領域に銅ワイヤー(直径0.3 mm)を配置し、それを液体窒素温度に冷却することによりワイヤーの表面に水分子を吸着させた。図2は $h\nu=900.1$ eVにおいて得られた同時計測

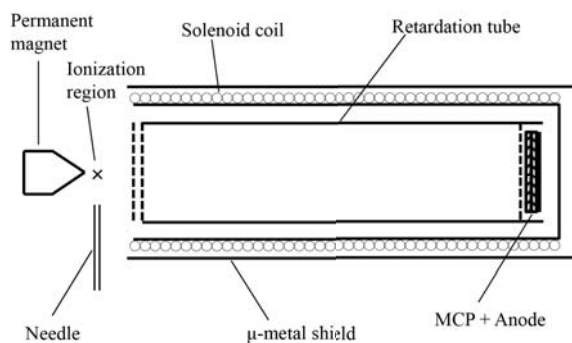


図1 磁気ボトル型電子エネルギー分析器の写真と概念図。

信号の2次元プロットであり、この測定では400Vの阻止電場を印加している。観測された構造は酸素1s光電子とオージェ電子の運動エネルギー相関として妥当であり、観測された構造の横方向の断面は通常のオージェ電子分光による報告と一致する。この固体試料に対する同時計測の検出効率と分解能は、ともに気相分子に対する測定と遜色ない。阻止電場無しの測定では、エネルギー分解能は落ちるが、これら2つの電子に加えて低速の電子を含んだ3重同時計測も観測できている。この低速電子は、なだらかなエネルギー分布

を示しており、光電子とオージェ電子放出の際の2次電子が殆どであると考えられる。気相水分子についての多電子同時計測^[3]では3重同時計測される低速電子の分布に解離フラグメントの自動イオン化構造が観測されたが、同様なピーク構造は凝集系では観測できなかった。当然ながら凝集系では分子解離は抑制されるので、このことは妥当な結果であろう。

4. おわりに

この研究はUVSORの単バンチ運転を利用して行っている。光フラックス

が重要な多くのユーザーにとって、単バンチ運転は歓迎されるものではなく、高エネ研の光子ファクトリーでは単バンチ運転は数年前より無くなった。そのため、私たちがのように放射光のバルス性を利用したいユーザーにとっては、UVSORの単バンチによるトップアップ運転の重要性は以前よりも増している。是非とも年2週間程度の良質の単バンチ運転を今後も維持して頂きたい。

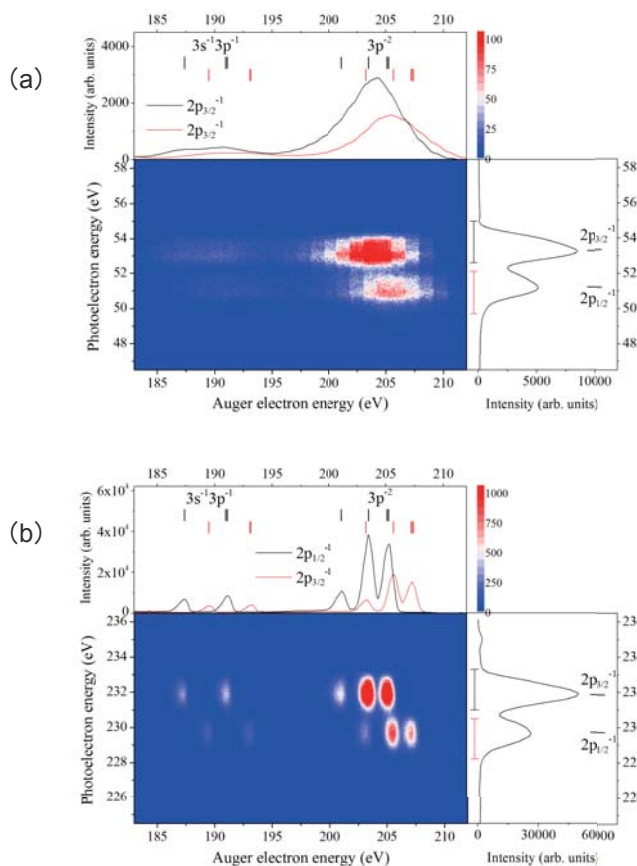


図2 Arの2p内殻イオン化による光電子とオージェ電子の運動エネルギー相関：(a) 阻止電場なし、(b) 阻止電場180V。

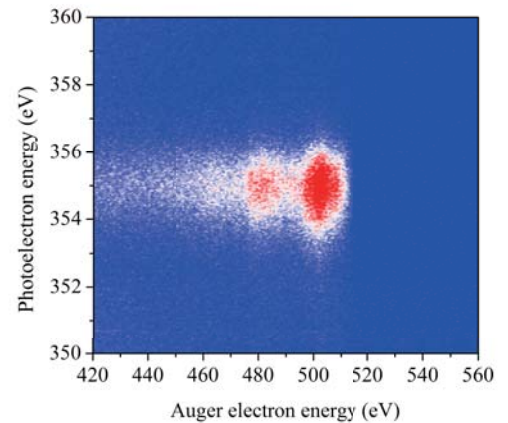


図3 銅表面に凝集させた水分子の酸素1s内殻イオン化による光電子とオージェ電子の運動エネルギー相関。



ひこさか やすまさ
1997年東京工業大学理工学研究科博士課程修了、博士(理学)。分子科学研究所、日本学術振興会、オックスフォード大学、物質構造科学研究所での博士研究員、分子科学研究所・助手/助教、新潟大学・准教授を経て、2015年4月より現職。

参考文献

- [1] Y. Hikosaka et al., Phys. Rev. A **92**, 033413 (2015); Phys. Rev. A **89**, 023410 (2014); Phys. Rev. Lett. **107**, 1130052 (2011) など。
- [2] Y. Hikosaka et al., J. El. Spectrosc. Rel. Phenom. **192**, 69 (2014).
- [3] Y. Hikosaka et al., J. Chem. Phys. **138**, 214308 (2013).