

## 新博士紹介

1. 氏名 佐野 睦 (現 物質構造科学研究所)
2. 論文提出大学 立教大学
3. 学位の種類 博士 (理学)
4. 取得年月日 1996年 3月
5. 題目 光—イオンビーム合流法を用いたキセノン1価イオンの4*d*光電離

### 6. アブストラクト

陽イオンにおける多電子効果を研究するには光イオン化分光を行うことが有効であり、実験的な難しさを除いて、方法自体は基本的には中性原子の場合と同様である。陽原子イオンの電子の軌道エネルギーは、一般的に中性原子のそれと比較して深くなる。これにより陽イオンにおける電子相関は中性原子の場合と異なるものと予想される。また励起した電子の感じる有効殻電価数は陽イオンと中性原子では異なり、この違いは光イオン収量スペクトルの大きな違いとして現れることも予想される。

中性 Xe の光電離の研究は実験的にも理論的にも  $4d \rightarrow \epsilon f$  巨大共鳴 ( $\epsilon$  は連続状態の意味) を中心に行われてきた。巨大共鳴の特長は  $f$  電子の有効ポテンシャルに強く依存する。周期律表の中の Xe およびその近隣の元素に対するこの有効ポテンシャルは 2 重井戸型であることが知られている。  $Z < 57$  の中性原子では  $4f$  波動関数の主要部分は外側の井戸に位置する  $Z = 57$  で  $4f$  軌道は内側の井戸へのコラプス (波動関数の主要部分が外側から内側へ移行すること) が始まり、  $Z > 57$  の全ての元素に対し  $4f$  波動関数は内側の井戸にコラプスする。これまで行われてきた  $4f$  軌道のコラプスに関連した巨大共鳴の研究は中性原子の光電離断面積の  $Z$  依存性を調べるのが中心であった。これに対して巨大共鳴の価数依存性を調べた研究はほとんどない。この理由は光イオン化分光実験を行うために十分なイオン標的の密度を得ることが難しいからである。この問題を解

決するために、十分な相互作用距離を得ることができる光—イオンビーム合流法を用いた実験装置が、本論文著者を含む共同チームにより製作され、これまでにこの装置を用いて  $Ba^+$ ,  $Eu^+$  の  $4d$  電離領域及び  $Sr^+$  の  $3d$  電離領域における測定が行なわれている<sup>1-3)</sup>。

本研究はこれまでの研究を、 $Xe^+$  イオンの光電離過程に拡張したものである。 $Xe^+$  イオンの場合、基底状態の電子配置が中性 Xe と異なり  $5p$  殻に空孔が存在する。この結果  $5p$  軌道と励起状態にある  $f$  電子との相関が強くなるものと期待される。本研究では、この点に鑑みて実験を行うことにより中性 Xe の場合との違いを明らかにするとともに、MCDF (Multi Configuration Dirac-Fock) コードを用いた理論解析を行うことにより  $Xe^+$  イオンの光電離過程の質的かつ定量的な理解をはかり、陽イオンの多電子効果についての基本的理解を深めることを目的とした<sup>4,5)</sup>。

実験は高エネルギー加速器研究機構放射光実験施設において行われた。電子衝撃型イオン源で生成した  $Xe^+$  イオンを 2 kV で引き出し、ウィンフィルターにより質量選別を行う。質量選別された  $Xe^+$  イオンはここで分光器から出射された単色化放射光と合流する。相互作用領域には約 800 V のバイアス電圧が与えられており、相互作用領域で光イオン化により生成したイオンとそれ以外の領域で生成したイオンとを区別することができる。光電離によって生成した  $Xe^{2+}$ ,  $Xe^{3+}$  を  $45^\circ$  静電型平行平板荷電分析器により価数分析し、2 台の 2 次電子増倍管を用いてそれぞれを検出した。また入射イオン強度はファラデーカップで検出した。入射光強度は金の蒸着面からの 2 次電子を測定して得た。測定中の  $Xe^+$  イオンの強度は約 80 nA, 光強度は  $10^{12} \text{ s}^{-1}$  程度、測定用チャンバーでの真空度は  $3 \times 10^{-1}$  Torr である。

図 1 に  $Xe^+$  の光電離により生成した  $Xe^{2+}$ ,  $Xe^{3+}$  の相対収量の測定値を示す。このときの光子エネルギーは 60 eV から 150 eV までであり、

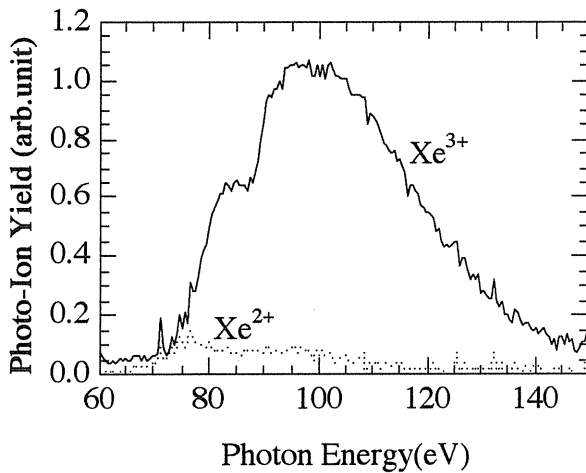


Figure 1. Relative photoion yields for  $\text{Xe}^{2+}$  and  $\text{Xe}^{3+}$  created by single and double photoionization of  $\text{Xe}^+$  in the region of photon energy of 60–150 eV.

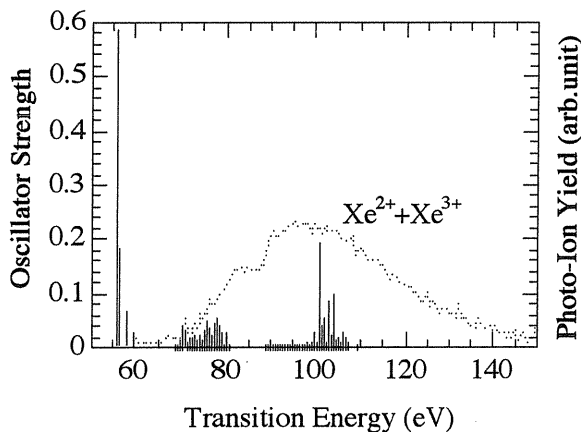


Figure 2. Comparison of the total photoion yields for  $\text{Xe}^{2+}$  and  $\text{Xe}^{3+}$  (dotted curve) with theoretical ionization oscillator strength by MCDF calculation (vertical lines).

測定間隔は0.5 eV, 分光器の分解能 ( $E/\Delta E$ ) は約70であった。 $\text{Xe}^{3+}$  の収量スペクトルには100 eVあたりに巨大共鳴構造が観測されている。これに対し,  $\text{Xe}^{2+}$  の収量スペクトルには85 eVおよび92 eV付近に構造が観測されている。このような構造は中性Xeに対しては観測されていない。 $\text{Xe}^{2+}$  および  $\text{Xe}^{3+}$  の両スペクトルとも78 eV以下の領域でラインスペクトルが観測されている。

観測されたスペクトルをMCDFコード<sup>6)</sup>を用

いた理論計算と比較した。計算結果を実験データ ( $\text{Xe}^{2+}$  と  $\text{Xe}^{3+}$  の収量の和) と比較したものを図2に示す。このコードを用いると基底状態から励起状態への双極子振動子強度の計算ができる。その結果, 以下のように結論づけられた<sup>4,5)</sup>。

- 1) 78 eV以下のラインスペクトルは  $4d \rightarrow np$ ,  $nf$  遷移である。
- 2) 85 eV付近の構造は  $4d \rightarrow ef$  巨大共鳴である。
- 3) 100 eV付近のもっとも大きなピークは2電子励起  $4d^9 4f 5s^2 5p^4 np$  によるものである。この状態は連続状態  $4d^9 5s^2 5p^5 ef$  と強く結合している。この解釈は, 生成イオンの大部分が100 eV付近では  $\text{Xe}^{3+}$  イオンであり, またこのピークの幅が非常に広いことと一致する。
- 4) 軌道の大きなコラプスが  $4d 5p \rightarrow 4fnp$  遷移に対して, また小さなコラプスが  $4d \rightarrow nf$  遷移に対して起こっていることがわかった。一方, 中性Xeの光励起の場合には  $f$  軌道のコラプスは起こっていない。

以上の研究を通じて  $\text{Xe}^+$  イオンの  $4d$  光電離過程における多電子効果が詳細に明らかにされた。

## 文献

- 1) M. Oura, *et al.*: Nucl. Instrum. Meth. B **86**, 190 (1994).
- 2) T. Koizumi, *et al.*: J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **28**, 609 (1995).
- 3) Y. Ito, *et al.*: J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **28**, 4733 (1995).
- 4) M. Sano, *et al.*: J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **29**, 5305 (1996).
- 5) M. Sano: *Atomic and Molecular Photoionization*, eds. A. Yagishita and T. Sasaki, (Universal Academy Press, Tokyo, 1996) p. 327.
- 6) K. G. Dyall, *et al.*: Comput. Phys. Commun. **55**, 425 (1989).

(受付番号 97028)