

アルゴン 2p 電子イオン化しきい付近における 時間分解ケイ光と質量選別イオンとのコインシデンス測定

(兵庫県立大学¹, 理研², JAEA³, JASRI⁴)

○池上 剛史^{1, 2}, 下條 竜夫^{1, 2}, 本間 健二¹, James Harries³, 樋口 格⁴, 為則 雄祐⁴

【序論】原子分子に光吸収・電子衝突によってエネルギーを与えると、励起状態を形成する。一般的に、励起状態は電子放出やケイ光放出を経て緩和される。これは内殻の電子を励起させた場合も同様で、オージェ過程・軟X線ケイ光・イオン化解離を経て緩和する。内殻励起の場合は、内殻に正孔が生じるため、価電子やより高い内殻の電子が遷移し、その結果、原子や分子は正イオンになる（オージェ過程）。また、この時、内殻から励起した電子が非占有軌道や高い軌道に遷移していた場合、励起状態の正イオンが生成することがある（傍観型オージェ過程）。

さて、アルゴンの場合にも 2p 電子をリユードベリ軌道などのエネルギーの高い空軌道へ励起させると、オージェ過程を経て励起状態のアルゴンイオンが生成される。この時、アルゴンイオンは励起状態をケイ光放出で解消するが、その寿命は電子状態によって決まっている。よって、ケイ光寿命を測定する事でイオンの電子状態を決定する事ができる。特に、アルゴンクラスターの場合、原子-原子間でのエネルギー移動などがあるため、電子分光で観測しようとする、他の崩壊過程による電子スペクトルとの重なりが生じてしまうが、ケイ光寿命を測定すれば励起状態のアルゴンイオンを直接観測できる。

本研究ではアルゴンを 2p 電子イオン化しきい値近傍のエネルギーで励起し、ケイ光寿命と質量選別イオンのコインシデンス測定を行った。これにより、ケイ光を放出したアルゴンイオンの価数を特定し、ケイ光寿命から電子状態を決定することが可能となったので報告する。

【実験】実験は SPring-8 の BL27SU で行った。

実験装置は真空チャンバー、ノズル部、検出部で構成されている。アルゴンクラスターの実験では背圧 3 気圧程度のアルゴンを液体窒素で冷却したノズルから真空内に噴出させ、サイズ 80 程度の比較的大きなクラスターを生成した。噴射したアルゴン原子、及びアルゴンクラスターはスキマーを通り、その後単色化された軟X線の照射により高励起内殻正孔状態に励起される。アルゴンイオンから放出されるケイ光は MCP(Micro Channel Plate)で検出され、そのケイ光を放出したイオンの質量は飛行時間型質量分析器で測定される。

一般にケイ光寿命測定にはナノ秒以下の精度が必要となる。そこで今回の実験では 4096 ch の MCS(Mulch Channel Scalar)と TAC(Time amplitude Converter)を用い、

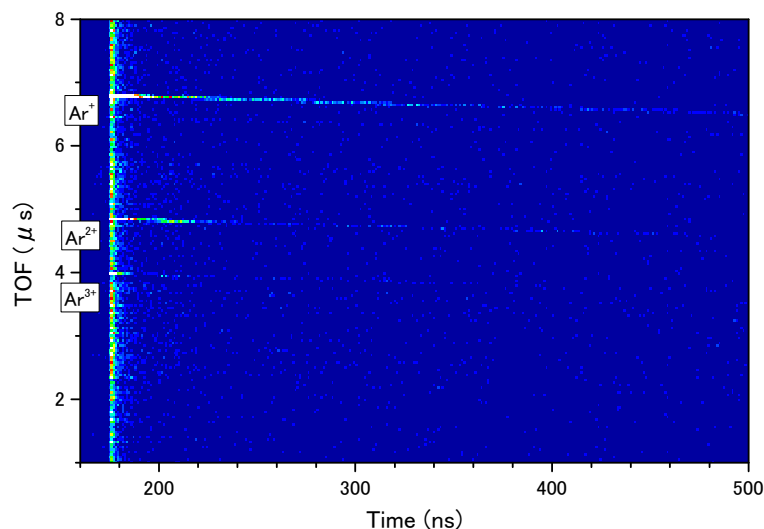
時間分解能を約 100 ps とした。観測はケイ光の検出をスタート信号、TOF の検出と SPring-8 のバンチシグナルをストップ信号とした。実験時の SPring-8 の filling パターンは $1/14 - \text{filling} + 12 \text{ bunches}$ モードで、この時のバンチの間隔は 342.1 ns となっている。これはアルゴンのケイ光を測定するのに十分である。

【結果と考察】下の図に示したのは 243.95 eV におけるアルゴンがクラスターを形成していない実験条件で測定した、ケイ光寿命と飛行時間の二次元マップである。

二次元マップは縦軸が飛行時間、横軸がケイ光寿命を表している。ケイ光寿命 170 ns 辺りにある縦軸に平行なスペクトルは、入射した軟 X 線の散乱光を MCP が感知するために表れているものである。飛行時間で $7\text{ }\mu\text{s}$ 、 $5\text{ }\mu\text{s}$ 、 $4\text{ }\mu\text{s}$ の辺りにある 3 本のスペクトルはそれぞれ上から Ar^+ 、 Ar^{2+} 、 Ar^{3+} を表している。斜めに傾いているのはケイ光の感知をスタート信号として使っているため、ケイ光寿命が長いほど飛行時間が短くなる事が原因である。

この二次元マップで、それぞれのアルゴンイオンについて、スペクトル全体を含むような TOF の領域（図の Ar^+ であれば $6\sim 7\text{ eV}$ ）で積算し、ケイ光寿命に対するアルゴンイオンの生成スペクトルを抽出した。このスペクトルを時間分解ケイ光スペクトルとし、2つの指数関数でフィッティングしてケイ光寿命を求めた。図に示した二次元マップの Ar^+ についてこれを行ったところ、検出器の応答性に相当する 1.5 ns 程度と、長寿命である 14 ns 程度の 2つの寿命の成分から成る事がわかった。ケイ光寿命はケイ光を発する前後のアルゴンの電子状態に依り、長寿命のケイ光は $3s.3p^6$ の電子状態にある 1 価の正イオンが $3s^2.3p^5$ に電子状態を遷移させる際に放出されたものであると思われる。

このような測定をアルゴンおよびアルゴンクラスターの $2p$ 電子イオン化しきい値近傍のいくつかのエネルギーで行った。しかし、散乱電子がメッシュなどとの衝突によりエネルギーの高いケイ光を放出するため、時間分解ケイ光スペクトルは S/N 比の悪いデータとなっている。現在このことを踏まえて、解析を行っている。



図： 243.95 eV におけるアルゴンのケイ光寿命と TOF に対する二次元マップ