

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 21 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23600009

研究課題名(和文)放射光による準安定リチウムイオンビームの生成と利用

研究課題名(英文)Metastable lithium ion beam research with synchrotron radiation

研究代表者

東 善郎 (Azuma, Yoshiro)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：50270393

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：放射光による気相リチウム原子の光イオン化によって準安定状態のリチウムイオンを大量に作り、そのビームをターゲット原子に衝突させ、ペニングイオン化を観測することを目的とした研究を進めた。改造型光イオン飛行時間差分析器を用いて希ガスを標的とした実験ではペニング電子自体が検出され、ペニング過程が起こっていることが確認された。次いでローレンスバークレー国立研究所の放射光研究施設で光電子分光装置を用いてペニング電子のエネルギー分析を行うことを試みたがペニングイオン化に関する確定的な測定結果を送るには至らなかった。一方、同光電子分光実験の結果衝突後効果と光電子捕獲について読めて興味深い実験成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：Experiments were conducted with the aim to produce a beam of metastable lithium ions by photoionizing gas phase lithium atoms with synchrotron radiation. The metastable lithium ion beam was then crossed with a target atom beam to observe Penning ionization. Individual Penning electrons were observed, utilizing a modified photoion time of flight spectrometer. Subsequently, an attempt was made at the advanced light source to energy analyze the Penning electrons, but the results fell short of conclusive determination. On the other hand, very interesting results were obtained on the post collision interaction and photoelectron recapture phenomena.

研究分野：原子分子物理学

キーワード：原子衝突 放射光 電子相関 光イオン化

### 1. 研究開始当初の背景

放射光による気相リチウム K 端付近の、吸収スペクトルおよび各種光イオンスペクトルのパターンが、内外の様々なグループの異なる実験状況、また我々自身のデータの新旧等によって大きく異なることが、いかにも不思議なミステリーであると感じられた。その理由は、比較的最近になってからやっと解明することができた。光イオン化 K 端以下においては基底状態のリチウムイオンしか生成されないのに対して、K 端を越えると準安定リチウム  $Li\ 1s2s\ ^1S\ ^3S$  が様々な比率で生成されるようになる。そして、基底状態リチウムと準安定リチウムとは、実験方法・状況によって準安定イオン vs. 基底状態イオンの検出効率比に大きな違いがあることにより、光イオン収量スペクトルのパターンが色々と変わってしまうのである。というわけでその問題は決着した。しかしながら、視点を変えると、放射光による光イオン化によって大量の準安定リチウムイオンを容易に生成することができるという事実がより重大な着眼点となった。

### 2. 研究の目的

電子物性研究のための新しいプローブとして、準安定リチウムイオンビームを提案。準安定リチウムイオンは、K 殻閾値近傍での放射光照射による光イオン化で大量に生成できる。準安定リチウムイオンビームと他の原子分子ターゲットとの相互作用、特にペニングイオン化過程について検証し、系統的な測定を行う。良く知られている準安定ヘリウムのペニング過程よりもビームの生成、方向およびエネルギーのコントロールの可能なイオンを用いるので、利用実験は技術的に容易と見込まれる。また、より大きいエネルギーをターゲットに投入する事ができること、そしてイオンであることにより、新しいタイプの原子分子過程がいくつも発現することが

予想される。基礎過程研究の他、固体、表面、表面吸着系などへの応用の可能性も期待したい。また、基礎物理過程としては、電子相関の影響の強い系において量子力学的な連続状態と束縛状態との干渉効果の観測が興味深い。

### 3. 研究の方法

光イオン化チェンバーと組み合わせ、気相リチウムを発生させるための金属蒸気オーブンを作成。K 端付近の真空紫外放射光とリチウム原子ビームを交差させることによって、準安定リチウムイオンを生成。高エネルギー加速器研究機構放射光研究施設においては光イオン飛行時間分析装置 (ToF) 装置を転用工夫することによって準安定リチウムイオンが大量に生成されていることを検証した。そしてリチウムイオンをビームにし、希ガスターゲットと交差させることによってペニング電子の検出実験を行った。次いで、ローレンスバークレー国立研究所放射光研究施設 (ALS) において、光電子アナライザー (ScientaSES400) を用いてペニング電子、光電子、オージェ電子等のエネルギー分析電子スペクトル測定を行った。

### 4. 研究成果

大出力金属蒸気オーブンの立ち上げに成功。高エネルギー加速器研究機構放射光研究施設において金属蒸気オーブンを改造型飛行時間差分析器に装着、そして放射光を照射することによって準安定リチウムにイオンの発生とペニング電子の検出に成功した。上記成果を踏まえてローレンスバークレーこく散る研究所放射光実験施設 ALS において、Scienta SES400 光電子アナライザーを用いてペニング電子のエネルギー分析を試みたが、ペニング電子ピークの同定が難しく、エネルギーを確証を持って測定するには至ら

なかった。ただし、同測定にともなって行った光電子オージェー電子測定実験のデータには、連続状態と束縛状態とのかかわりあいに関連する極めて興味深い発見があった。キセノン原子で内閣光イオン化における光電子の最後格闘オージェー電子の衝突どこかについて分析と検討を進めた。キセノンイオンのオージェー電子スペクトルにおいて、高い主量子数に至る。リュドベリ構造が認められたので量子欠損を求め理論と比較検討した。さらに、光イオン化閾値に近い領域において、オージェー電子ピークにおける連続的な衝突後効果による光電子再捕獲によって、終状態イオンの離散的なリュドベリ列構造が見られるようになるまでの漸次的な変化の様子を明らかにした。これを衝突後効果の半古典理論と引きあわせて検討し、興味深い結果を得ることができた。筑波の方エネルギー加速器研究機構放射研究施設においては、ScientaR4000 高分解能光電子アナライザーを真空紫外ビームラインに運搬設置し、さらに、光電子再捕獲によるリュドベリ構造の高分解能測定をすすめ、比較的低い励起状態の共鳴オージェー電子放出との連続的な繋がりを明らかにした。さらにウラシル、ピリミジン、等の生体関連分子についても低速電子の解離性捕獲 (Dissociative Electron Attachment) に関する新しい知見を得ることができた。今後これらのプロセスを準安定リチウム衝突によって研究することは興味深い。

#### 5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

Satoshi Kosugi, Masatomi Iizawa, Yu Kawarai, Yosuke Kuriyama, A L David Kilcoyne, Fumihiko Koike, Nobuhiko

Kuze, Daniel S Slaughter, Yoshiro Azuma: *PCI effects and the gradual formation of Rydberg series due to photoelectron recapture, in the Auger satellite lines upon Xe 4d -1 5/2 photoionization.* Journal of Physics B Atomic Molecular and Optical Physics 04/2015; 48(11). DOI:10.1088/0953-4075/48/11/115003

査読つき。

Y. Kawarai, Th. Weber, Y. Azuma, C. Winstead, V. McKoy, A. Belkacem, D. S. Slaughter: *Dynamics of the Dissociating Uracil Anion Following Resonant Electron Attachment.* Journal of Physical Chemistry Letters 10/2014; 5(21):3854–3858. DOI:10.1021/jz501907d

査読つき。

[学会発表](計 0件)

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

取得状況(計 0件)

名称 :

発明者 :

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

東 善郎 ( AZUMA, Yoshiro )

上智大学理工学部物質生命理工学科教授

研究者番号：50270393

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：