放射性 Zr 同位体のための高分解能共鳴イオン化分光法の開発

Development of High Resolution Resonance Ionization Spectroscopy for Radioactive Zr Isotopes

*松井 大樹^{1,2}, Vincent Degner^{1,3}, 中村 敦¹, 齋藤 洸介¹, Mikael Reponen², 大嶽 遼平¹, 大橋 雅也¹, Volker Sonnenschein^{1,2}, 富田 英生^{1,2}, 山崎 淳¹, 井口 哲夫¹, Pascal Naubereit³, Klaus Wendt³, 坂本 哲夫⁴, 園田 哲², 和田 道治²

1名古屋大学,2理化学研究所仁科加速器研究センター,

3ヨハネスグーテンベルク大学マインツ、4工学院大学

放射性 Zr 同位体の高分解能共鳴イオン化分光に向けて、高効率なイオン化スキームの開発に応用できるグレーティング型チタンサファイアレーザーを開発し、安定Zr 同位体の高分解能共鳴イオン化分光を行った。

キーワード: Zr-93, 共鳴イオン化, 自動イオン化準位

1. 緒言 レーザー共鳴イオン化において十分に狭帯域な波長可変レーザーを用いることで、エネルギー準 位毎の超微細構造や同位体シフトを区別した高分解分光が可能であり、同位体選択的イオン化による微量 長半減期同位体の分析や不安定放射性核種のレーザー核分光に用いられる。本研究では、放射性 Zr 同位体 の高分解能共鳴イオン化分光を念頭に、広範な連続波長可変域を持つグレーティング型チタンサファイア (Ti:Sa) レーザーを用いた高効率なイオン化スキームの開発と、狭帯域レーザーである注入同期型 Ti:Sa レーザーを用いた安定 Zr 同位体の高分解共鳴イオン化分光を行った。

2. 広帯域スキャン用グレーティング Ti:Sa レーザーの開発 高分解分光分析のためには、イオン化が容易なリュードベ リ準位、または自動イオン化準位を経由したイオン化スキ ームを用いることが望ましい。そこで、これらの準位を探 査するための広範な連続波長スキャンが可能なグレーティ ング型 Ti:Sa レーザーの開発を行った。Fig. 1 に概念図を示 す。反射型グレーティングを Z 字型共振器内に配置し、1 次回折光を閉じ込めることによりレーザー発振を行った。 レーザーの発振線幅は、共振器内にプリズムペアを配置し て、グレーティングへのレーザーのビーム径を変化させる ことで調整した。基本波で715~920 nmの連続波長可変域が 得られ、共振器内に BBO 結晶(中心波長 745nm)を配置す ることで、第 2 高調波として 360~410 nm の連続波長可変域 が得られた。



Fig.1 グレーティング型 Ti:Sa レーザー

3. 安定 Zr 同位体の高分解能共鳴イオン化分光 Fig. 2 に Zr 高分解能共鳴イオン化分光の実験体系を示す。開発したグレーティング型 Ti:Sa レーザーを用いて自動 イオン化準位を探索し、高効率なイオン化が可能な自動イオン化準位(Fig.2 参照)を選定した上で、安定 Zr 同位体の高分解能共鳴イオン化分光を行った。約 20 MHz の発振線幅を持つ注入同期型 Ti:Sa レーザーの 第 2 高調波を励起用レーザー(1 段目)に使用し、標準型 Ti:Sa レーザーをイオン化用レーザー(2 段目) として 1 kHz で動作させた。Zr フィラメントを抵抗加熱することで得た Zr 原子に対して照射してイオン化 し、飛行時間型質量分析計にて質量分離して検出した。Fig. 3 に、注入同期型 Ti:Sa レーザーの発振周波数 と飛行時間に対する 2 次元ヒストグラムを示す。奇数核である ⁹¹Zr は超微細構造があるためピークが複数 に別れ、幅広く分布されていることが分かる。今後、放射性 ⁹³Zr の同位体選択的イオン化についての検討 を進める予定である。



謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 基盤(C)26420868、中部電力原子力安全技術研究所 公募研究(一般)の助成を受けて実施されました。

^{*}Daiki Matsui^{1,2}, Vincent Degner^{1,3}, Atsushi Nakamura¹, Kosuke Saito¹, Mikael Reponen², Ryohei Otake¹, Masaya Oohashi¹, Volker Sonnenschein^{1,2}, Hideki Tomita^{1,2}, Atsushi Yamazaki¹, Tetsuo Iguchi¹, Pascal Naubereit³, Klaus Wendt³, Tetsuo Sakamoto⁴, Tetsu Sonoda² and Michiharu Wada²

¹Nagoya Univ., ²RIKEN Nishina Center, ³Johannes Gutenberg-University Mainz, ⁴Kogakuin Univ.