



Title	Study on Atomic Vapor Laser Isotope Separation of Zirconium
Author(s)	林, 昶煥
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/41376">https://hdl.handle.net/11094/41376</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	林 昶 煥
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 14645 号
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	Study on Atomic Vapor Laser Isotope Separation of Zirconium (ジルコニウムのレーザー同位体分離に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 中井 貞雄
	(副査) 教授 西川 雅弘    教授 井澤 靖和    教授 堀池 寛 教授 飯田 敏行    教授 三間 罔興    教授 西原 功修 教授 権田 俊一

#### 論文内容の要旨

本論文は、原子力用材料として重要なジルコニウム (Zr) のレーザー同位体分離を目的として、Zr 原子の分光学的データを実験により取得し、その結果を下にレーザーによる Zr の選択的多段階光電離過程について研究した成果をまとめたものであり、6章から構成されている。

第1章は緒論であり、Zr 同位体分離の重要性について述べ、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章では、Zr 原子の高分解能レーザー分光実験結果についてまとめている。3段階光電離過程における初段及び2段目の励起に必要な Zr の励起準位、及び原子遷移についてエネルギー値、準位の全角運動量子数 J 値、超微細構造定数、同位体シフトを決定し、 $^{91}\text{Zr}$  の超微細構造は 3 - 5 GHz と幅が広く、偶数同位体の吸収線はすべて  $^{91}\text{Zr}$  の超微細構造の中に重なっていることを明らかにしている。

第3章では、3段階共鳴イオン化分光法を用いて3段階光電離過程の電離準位として利用可能な Zr の自動電離準位に関するデータを取得し、新しく100個以上の自動電離準位を見出すとともに、レーザー光の偏光の違いを利用して20個以上の自動電離準位に対して全角運動量子数 J 値を決定している。

第4章では、超微細構造拡がりの大きい、質量数が奇数の同位体の分離に有効とされている直線偏光レーザーを用いる励起・電離スキームについて検討している。密度行列を用い、磁場の効果を含めて原子の励起・電離ダイナミクスを解析できる計算コードを開発し、外部磁場が同位体選択性に及ぼす効果を解析し、レーザー光電場による Rabi 振動周波数と外部磁場による Larmor 歳差運動周波数の干渉効果が電離特性に現れることを見出すとともに、Zr のレーザー同位体分離において高い同位体選択性を実現するためには磁場の強度を地磁気程度にまで抑えなければならないことを明らかにしている。

第5章では、直線偏光レーザーを用いる  $^{91}\text{Zr}$  の除去と、小さい同位体シフトを利用する偶数同位体の濃縮という2種類のレーザー分離スキームを検討している。準安定準位への熱励起、レーザー光のスペクトル幅と光子利用効率などの効果を含めて、経済性の観点から必要な原子蒸気発生量とレーザー光子数を評価し、Zr の場合には偶数同位体のみを濃縮する方式も有効であることを明らかにしている。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

原子力分野で広く用いられているZrには5個の同位体があり、この中から熱中性子吸収断面積の大きい $^{91}\text{Zr}$ を除去できれば安全性及び経済性の面から材料としての特性を大きく向上できるものと期待されている。本論文は、 $^{91}\text{Zr}$ の除去に対するレーザー同位体分離法の適用可能性を評価するため、3段階光電離過程による原子法レーザー同位体分離が必要となるZr原子の分子データを取得し、得られたデータを用いて最適な選択励起経路や同位体選択性について検討した結果をまとめたものであり、得られた主な成果を要約すると以下の通りである。

- 1) 高分解能のレーザー誘起蛍光法により、 $17,000\text{--}22,000\text{cm}^{-1}$ 、ならびに $34,000\text{--}37,000\text{cm}^{-1}$ のエネルギー範囲に存在するZr原子の励起準位を測定し、多くの新しい準位を見出している。また、励起準位の全角運動量子数J値、 $^{91}\text{Zr}$ に対する超微細構造定数、遷移の同位体シフトなどを決定し、偶数同位体間の同位体シフトが200MHz以下であるのに対して、 $^{91}\text{Zr}$ の超微細構造幅は3–5GHzと広く、しかも偶数同位体の吸収線が $^{91}\text{Zr}$ の超微細構造幅の中に重なっていることを明らかにしている。
- 2) 共鳴イオン化分光法によりZr原子の自動電離準位を測定し、100個以上の新しい自動電離準位を見出すとともに、励起用レーザー光の偏光を変化させ、20個以上の準位について全角運動量子数J値を決定している。また、得られた準位に関するデータを下にZrのレーザー同位体分離に適した3段階選択励起経路を提案している。
- 3) 超微細構造幅が大きい奇数同位体の分離に有効とされている直線偏光レーザーによる3段階光電離過程において、外部磁場が同位体選択性に及ぼす効果を量子論的に解析し、レーザー光電場によるRabi振動と磁場によるLarmor歳差運動の干渉効果が光電離特性に現れることを見出している。また、Zrのレーザー同位体分離において大きな同位体選択性を実現するためには、外部磁場の大きさを地磁気程度にまで抑えることが重要であることを指摘している。
- 4) 直線偏光レーザーによる $^{91}\text{Zr}$ の除去と、小さい同位体シフトを利用した偶数同位体の濃縮という2種類のレーザー同位体分離手法を経済性の観点から比較し、基底準位付近の準安定準位への熱励起や、レーザー光のスペクトル幅と利用効率などを含めて必要な原子蒸気量や入射レーザーエネルギーを解析し、Zr $^+$ の場合には偶数同位体のみを濃縮する手法も有効であることを指摘している。

以上のように、本論文はZr原子の分光学的特性を明らかにし、レーザー同位体分離に関して多くの新しい知見を得ており、レーザー工学ならびに原子力工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。