

審査の結果の要旨

氏名 松岡 雷士

本論文は、2波長のレーザー光を用いて高励起状態の原子の電子構造およびレーザー冷却されたイオンの運動ダイナミクスに対して実験を中心に研究を行っており、5章から構成されている。

第1章は序論で研究の背景と目的を述べている。まず論文題目である「2波長分光学的研究」で明らかになることとして、選択則の利用、高エネルギーおよび高角運動量準位への到達、パリティ反転などを具体例としてあげている。対象として高励起原子およびレーザー冷却イオンを取り上げて、各々の特徴について述べている。原子については遷移金属のデータが限られていることや、その電子構造の重要性について言及している。レーザー冷却イオンについては、トラップされたイオンが冷却されることにより結晶構造を作ることが知られているが、その挙動についてはまだ不明な点が多いことが指摘されている。2波長分光実験を高励起原子およびレーザー冷却イオンに対して行うことでこれらに対して新たな知見を得ることを本研究の目的としている。

第2章ではハフニウム原子に対する2波長共鳴イオン化分光について書かれている。はじめにハフニウム原子の電子構造について説明があり、特にd原子の影響について論じられている。続けて実験装置の説明がなされている。励起光源としてエキシマレーザー励起の2台の色素レーザーが用いられており、ハフニウム原子は真空容器中で電子ビーム加熱により得られている。さらにイオンの検出および計測系について説明がなされている。レーザー光波長の較正にはAr-Ne オプトガルバノセルおよびエタロンが用いられている。2段階励起で用いられた中間状態の性質について示された後、高励起 Rydberg 系列のスペクトルが示されている。観測された準位は量子欠損理論に基づいて解析が行われ電子状態が同定されている。あわせて第1イオン化限界値が導出されている。

第3章では2章と同様な手法によりチタン原子の高励起状態の2波長共鳴イオン化分光が行われている。はじめに既往の研究について説明があった後、実験装置について説明がなされている。次に実験で用いられた中間準位について、さまざまな角運動量の結合方式から論じられている。この結果、本研究で利用した中間準位は多くのイオン化限界へ収斂する系列を観測する上で優れていることが示されている。2波長による分光実験を行い複数の中間状態を利用して得られたスペクトルを示すとともに、スペクトルの性質から3つの領域に分けてそれぞれの検討を行っている。イオンコアの状態を厳密に検討することにより、広いエネルギー領域において同定できたことが示されている。あわせて第1イオン化限界値も求めている。

第4章では交流電場で捕獲されたカルシウム1価イオンがレーザー冷却される際の運

動ダイナミクスについて実験および数値計算を行うことで検討を行っている。はじめに四重極電極に MHz オーダの交流電場を印加することでイオンが捕獲出来ることが概説されており、その研究対象は広範にわたっていることが示されている。次に捕獲されたイオンをレーザにより冷却する利点について述べられている。さらに冷却されたイオンが交流電場から受ける影響として rf 加熱を取り上げ、スペクトルに与えるその効果について解析的に検討している。これらを踏まえて、まず実験装置および手法が述べられている。Nd:YAG レーザの 2 倍高調波を照射してアブレーションにより発生するカルシウムイオンを線形四重極トラップにトラップし、エタロンに波長固定された 2 台の半導体レーザからのレーザ光を捕獲されたイオンに照射することにより、イオンを冷却することが述べられている。イオンから放出される蛍光の検出は光電子増倍管により行われている。この 2 波長を各々掃引することにより得られる蛍光スペクトルからトラップ中でのイオンの挙動の検討を行っている。具体的には印加電圧の振幅を変えることにより rf 加熱の影響を変化させ、冷却レーザ光およびリポンプレーザ光の波長を各々変化させた際のスペクトルの変化を数値計算と比較することで rf 加熱によるマイクロモーションがイオン結晶化へ影響を与えていることが示されている。

第 5 章は結論であり、本研究のまとめが述べられている。

以上を要するに、本論文は遷移金属および電場によりトラップされた 1 価のイオンに 2 波長のレーザ分光を行うことで、それらの電子構造および運動ダイナミクスを実験的に明らかにしている。こうした成果はシステム量子工学の進歩に貢献することが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。