

4P038

捕捉金属クラスターイオンのための磁気光学分光装置

(コンポン研*・豊田工大**) ○間嶋拓也*, 寺寄亨**, 近藤保**

【序】

サイズに依存した金属クラスターの特異な電子状態・磁気特性を捉えるため、質量選別イオンの磁気光学分光を行うための新しい実験装置の開発を進めている。イオントラップと光共振器を組み合わせることにより、真空中に捕捉した孤立イオンの光吸収スペクトルおよびゼーマン分裂、ファラデー回転スペクトルの高感度測定が可能となる（フォントラップ磁気分光）。これまでに、マンガン原子イオン Mn^+ の電子遷移 ${}^7P_{2,3,4} \leftarrow {}^7S_3$ (波長約 260 nm) を用いて、本装置の有効性を実証している [1]。

現在、クラスターイオンに対する測定を開始している。クラスターに対しては、上記のフォントラップ磁気分光に加えて、光解離分光実験が可能である。それぞれ試験的な結果が得られたので、以下にその報告を行う。またその中で、蓄積イオンの分布がイオントラップ内で大きな不均一性を持つという、重要な特性が明らかになった。その測定結果についても併せて説明する。

【フォントラップ分光】

銀9量体イオン Ag_9^+ は、波長 308 nm を中心に約 $8 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ の大きな光解離断面積を持つことが報告されている [2]。この遷移を光吸収測定で捉えることを最初の目標とした。実験では、マグネトロンスパッタ型イオン源で生成したイオンを、四重極質量選別器でサイズ選別した後、八極子線形イオントラップに導入した。選別後の Ag_9^+ イオンビーム電流は ~ 100 pA であり、 7.5×10^8 個までイオンを蓄積できた。捕捉イオンは、液体ヘリウム温度のバッファガスとの衝突によって冷却が可能である。イオントラップの両端外側には高反射率のミラーを設置し、トラップと同軸となるように光共振器を組んだ。今回、 Ag_9^+ の吸収を検出するため、308 nm における反射率が 99.99% の誘電体多層膜ミラーを特注した。ここに波長可変 OPO レーザーからのレーザーパルスを入射し、共振器の光閉じ込め寿命を測定した。捕捉イオンの有無による閉じ込め寿命の差から、光吸収断面積を導出した（フォントラップ法：キャビティリングダウン法を含む一般的な呼称 [3]）。8000 回分の波形積算を行うことにより、 $0.17 \pm 0.07 \text{ ppm}$ の吸収が観測された。しかしこれは、捕捉イオンの空間平均密度から想定される吸収量の約 1/7 にしかならない。この不一致から、トラップ内でイオンが均一に分布しているという仮定に問題があると考えた。

そこで、レーザー光の入射位置を掃引して、トラップ内のイオン分布を以下の方法で実測した。但し、共振器中でのビーム位置制御は難しいため、この実験では共振器ミラーを取り除き、クラスターの光解離を検出した。レーザー光は直径約 2 mm に絞り、イオントラップ中心軸との平行を保ったまま、その位置を動かした。解離イオン量がイオン密度に比例することを利用して、その分布を導出した。解離イオンの測定方法は次節にて説明する。このと

き、トラップ入口電極のポテンシャル障壁の高さを調節して、蓄積されるイオン量を変化させて測定を行った。なお、イオントラップを構成する八極子ポールの内接直径は 11 mm である。その結果、まず捕捉イオン総数 1.6×10^8 個の場合、断面直径約 5 mm 程度の大きさで中心軸付近に固まって分布していることが分かった。次に、入口ポテンシャル障壁を高くして、 1.3×10^9 個まで蓄積して測定を行った。総イオン数を 1 桁近く増加多くしているにも関わらず中心部の密度は殆ど変化しておらず、ポールに近い外縁部周辺が急激に増加し、リング状の分布形状を持っていることが確認された。すなわち、イオンを大量に蓄積しても、殆どのイオンはこの外縁部に偏っており、中心部の密度は平均値を大きく下回っていることが分かった。上記の Ag_0^+ の吸収測定においては、レーザー光とイオンの重なり部分の有効密度が、平均密度の 1/7 程度しかなかったことが逆に推測される。今後は、密度分布の詳細な把握と、トラップ中心部の密度の向上を図り、スペクトルの測定を目指す。

【光解離分光】

本装置で可能なもう一つの分光実験である光解離分光を、マンガン 2 量体イオン Mn_2^+ に対して行った。光解離分光は、解離を伴う遷移に限定される制約はあるものの、クラスターの重要な分光手段のひとつとして広く用いられてきた。従来、我々はパルス状のイオンビームとレーザーとを直交させる手法で測定を行ってきたが、本装置ではイオントラップを用いている点が異なる。ビーム直交法に比べて、イオン強度やビーム同士の重なり領域の安定性が高く、測定精度を大幅に改善できた。また本装置では、クラスターイオンの極低温冷却や磁場中で測定など、いくつかの特徴を持った新しい光解離分光が可能である。

イオンの生成、捕捉方法は前述のフォントラップ法での方法と共通である。捕捉した Mn_2^+ イオンに解離用の波長可変レーザー光を照射した後、イオンを引き出して四重極質量選別器で質量分析し、親イオンと解離イオンの強度比から光解離断面積を導出した。波長領域 225 - 250 nm にある Mn_2^+ の電子遷移 (${}^{12}\Pi_u \leftarrow {}^{12}\Sigma_g^+$) を測定した結果、従来の実験 [4] では確認できなかった、数十 cm^{-1} の間隔のピーク構造を捉えることができた。今後、10 K 以下のクラスターの分光、磁気光学効果の測定を進めていく予定である。

[1] 寺寄亨, 間嶋拓也, 近藤保: 分子構造総合討論会 2006, 2B16.

[2] Tiggesbäumker et al., Phys. Rev. A 48, R1749 (1993).

[3] Terasaki et al., J. Opt. Soc. Am. B 22, 675 (2005);

Egashira et al., J. Chem. Phys. 126, 221102 (2007).

寺寄亨, 江頭和宏, 近藤保: 分光研究 vol.56, No.2, 62.

[4] Terasaki et al., J. Chem. Phys. 114, 9367 (2001).