

静電型イオンビームトラップに蓄積した ナフタレンカチオンのレーザー誘起反応の観測

山佐一樹, 楠田淳之介, 福崎利仁, 間嶋拓也, 今井誠, 土田秀次*, 斉藤学*

京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻

*京都大学大学院工学研究科附属量子理工学教育研究センター

静電型イオンビームトラップ内に蓄積したナフタレンカチオンを 266 nm レーザーで励起し、放出される解離中性粒子数の時間変化を測定した。蓄積時間は 5 ms、10 ms、20 ms、30 ms、40 ms であった。測定データから、レーザー励起したナフタレンカチオンの内部エネルギーを見積もることができた。その結果、蓄積時間が増加するほど内部エネルギーが下がることがわかった。

1. Introduction

超高真空などの孤立系における励起分子が、励起するときに受け取ったエネルギーを失ってゆく冷却過程には、蛍光、解離、赤外放射、再帰蛍光がある。再帰蛍光は、1988 年に Léger らによって新しく提唱された冷却過程である[1]。近年、イオントラップ技術の発達によりこれらの冷却過程に関する実験的研究が盛んに行われてきた。我々はこれまでに、静電型イオンビームトラップに蓄積した励起ナフタレンカチオン ($C_{10}H_8^+$) の再帰蛍光の観測及び分光測定に成功している[2][3]。今後、励起 $C_{10}H_8^+$ の内部エネルギーと再帰蛍光波長の依存性を調べることを考えている。そこで本研究では、予備実験として、励起源をレーザー光にすることで、励起 $C_{10}H_8^+$ の内部エネルギーを見積もることを試みた。

2. Experimental

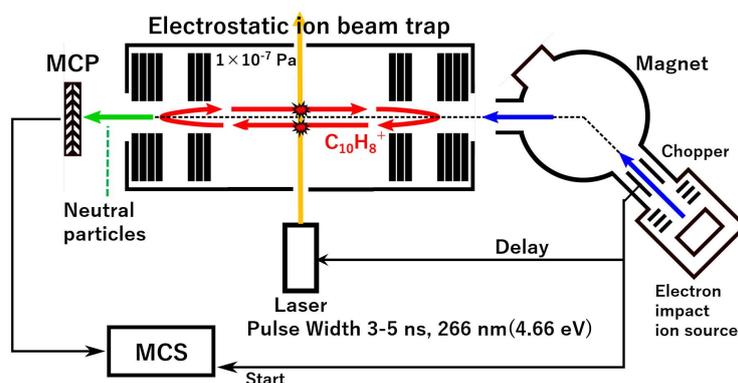


図 1 実験装置概略図

図 1 に実験装置の概要を示す。電子衝撃型イオン源で生成したナフタレンカチオンを 1.2 kV で加速し、静電チョッパーでパルス化する。このパルスビームを 45 度電磁石で質量電荷比選別し、静電型イオンビームトラップ内に導入する。トラップ後方の電極には電圧が印加されており、ビームはこの電場によって反射される。入り口側の電極にはビーム導入後に電圧が印加され、ビームは電極間を往復運動してトラップ内に蓄積される。ビームのパルス幅はビームがトラップ内を 1 往復する時間に設定されている。ビームをチョップする信号をスタート信号として、それより一定時間遅らせてパルスレーザーを $C_{10}H_8^+$ ビームと交差するようにトラップ内に照射する。

光子吸収により励起したカチオンから生じる中性解離片をトラップ後方に設置した MCP で検出し、時間変化を MCS で記録する。

使用したレーザーは、光子エネルギー4.66 eV（波長 266 nm）、パルス幅 3-5 ns、パワー1.0-1.5 mJ のものを使用した。C₁₀H₈⁺の解離しきい値エネルギーは 4.1 eV であるため、中性解離片を生成することができる。

3. Results

図2はイオン生成から30 ms トラップに蓄積した後にレーザー光を入射した時の中性粒子スペクトルである。30 ms のピークがレーザー励起で生成された中性粒子で、その付近を拡大したものが中の図である。一番左の Laser shot と指示されたピークはレーザー照射時のノイズであり、それを除くと、以降のピークはイオンビームがトラップ内を周回する時間の半分の周期（10 us）で観測される。よってこれらのピークは、レーザー光により励起された C₁₀H₈⁺からの中性粒子であることがわかる。各ピークの積算値をプロットし、レーザーを入射する時間を30 ms の他に5 ms、10 ms、20 ms、40 ms に変えたときのデータを比較したものが図3である。

解離と再帰蛍光の速度定数の理論値[4][5]を用いて、図3のうちレーザー入射までの蓄積時間40 ms と5 ms の測定値から、レーザーにより励起された直後の内部エネルギーを求めると、蓄積時間40 ms では7.49-8.15 eV、蓄積時間5 ms では7.63-8.23 eV となった。誤差は最大で±0.06 eV である。

このように、内部エネルギーの値を見積もることができ、さらに蓄積時間によって内部エネルギーが変化していることがわかったので、中性解離粒子と同時に再帰蛍光の波長分布を測定することで、内部エネルギーと再帰蛍光波長の依存性を調べることを考えている。

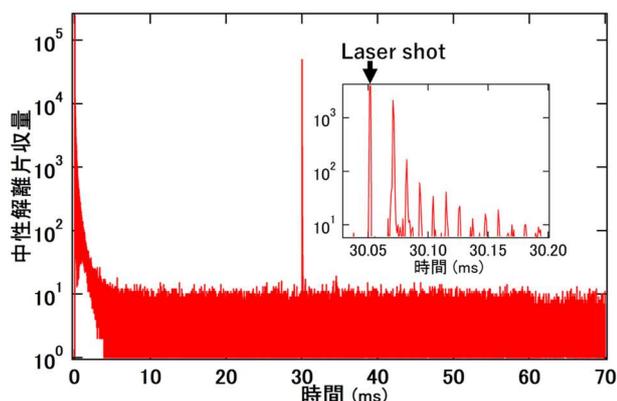


図2 イオン生成から30 ms でレーザーを入射したときの中性粒子収量

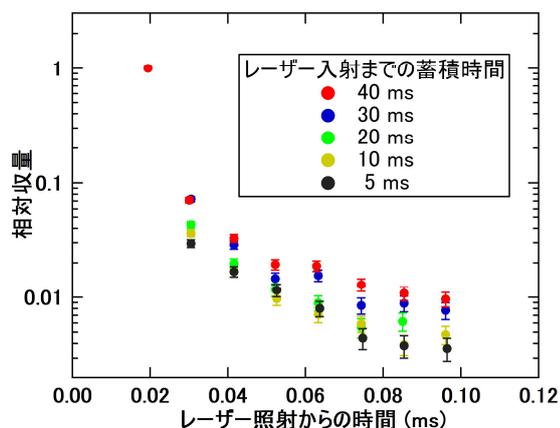


図3 レーザー入射までの蓄積時間別の中性粒子収量

- [1] A. Léger et al., Phys. Rev. Lett. 60, 921 (1988).
- [2] 久保田啓嗣, 京都大学大学院工学研究科, 令和元年度修士論文
- [3] 山佐一樹, 京都大学工学部物理工学科, 令和元年度卒業論文
- [4] P. Boissel et al., J. Chem. Phys. 106, 4973 (1997)
- [5] Y. Ho et al., J. Am. Chem. Soc. 117, 6504 (1995)