

イオントラップに蓄積されるイオンの観測とパルスビームの質量分析

(環境計測) 杉立 卓治

1 はじめに

本研究室では分子イオンの解離性電離反応や解離性電子捕獲反応について調べている。分子イオンの解離性反応は分子イオンの振動状態に依存するが、振動状態を区別した反応測定はされていない。そこで本研究室では分子イオン冷却を目的とした静電型のイオントラップの開発を進め、これまでに単原子イオンのトラップに成功している。しかし、今回の実験に用いた装置には質量分析装置が設置されていないため、イオン源で試料がフラグメンテーションを起こし複数のイオンが生成されるような分子については蓄積することができていなかった。

本研究では、イオン源から出てきたイオンがトラップに到達するまでの飛行時間差を利用して質量分析を行い、分子イオンの蓄積およびその寿命の測定を行った。

2 イオントラップの概要

イオントラップの概略図を図1に示す。電子衝撃型の Nier 型イオン源で 1.2keV のイオンを生成した。イオン源直後に設置しているデフレクターでビームの方向を補正した後、水平デフレクターの電圧を高速で ON-OFF することによってパルスビームを生成した。生成したパルスビームを 90° 静電デフレクターに入射し、90° 方向に曲げてトラップに入射した。トラップ出口側の電極の電圧はあらかじめ上げておき、パルスビームがトラップ内に達してから入り口側の反射電極を立ち上げ、イオンをトラップ内に閉じ込めた。

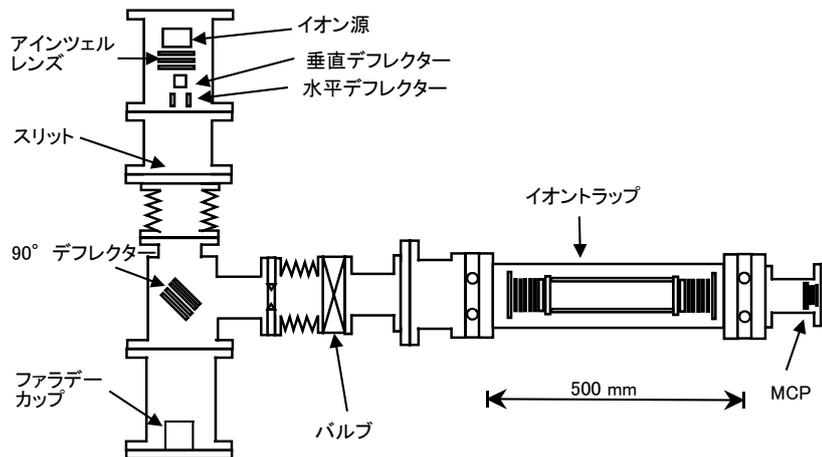


図1 イオントラップ概略図

3 実験

3.1 質量分析

イオン源で生成されたイオンは一定の運動エネルギーをもっているため、イオンの飛行速度は質量に依存する。イオンがイオン源で生成され、一定距離を走行したあとにトラップ入り口までに到達する時間の差を利用して、入射する分子イオンの質量分析を試みた。

図2はパルス幅が2.9 μsecのCO⁺、CO₂⁺のビームを、トラップを作動させずにMCPで測定した結果である。縦軸はMCPで観測されたイオン数、横軸はパルスビームを生成してからビームがMCPに達するまでの飛行時間を示している。CO⁺とCO₂⁺のパルスビームにおいて15 μsecから17 μsecにH₂O⁺が見られ、CO₂⁺のパルスビームにおいてはCO⁺も観測された。図2からもわかるように、パルス幅を2.9 μsec以下に設定したとき、これらのイオンを確実に分離することができる。トラップに入射するイオン数をできるだけ多くするために今回の実験には2.9 μsecのパルスビームを用いた。

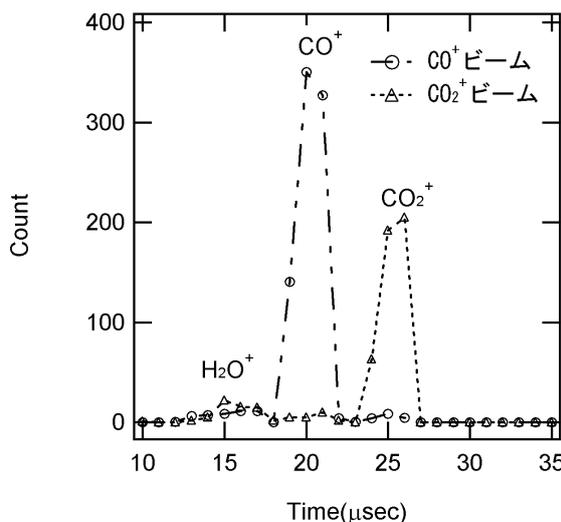


図2 CO⁺、CO₂⁺の飛行時間

3.2 蓄積されたイオンの寿命測定

トラップ内を運動するイオンは残留ガスと衝突し中性化される。中性化された粒子はトラップを逃れ、トラップ後方に設置したMCPで観測されるが、その数は時間とともに指数関数的に減少する。この減少率はトラップ内で運動するイオン数を反映している。検出される中性粒子数が1/eになる時間をトラップ内の蓄積イオンの寿命として測定する。

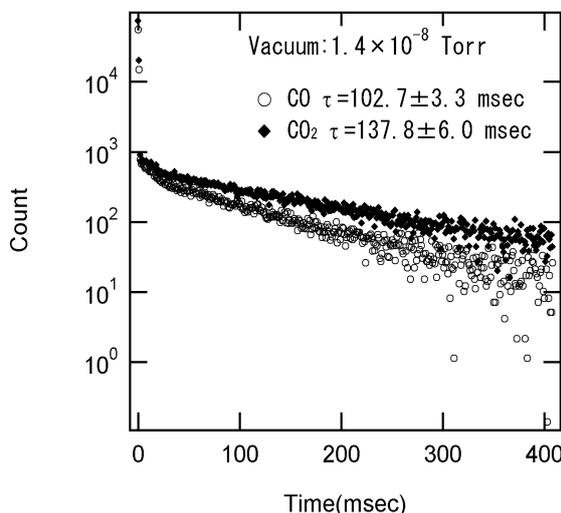


図3 CO⁺、CO₂⁺のdecay curve

CO⁺、CO₂⁺についての測定結果を図3に示す。縦軸がMCPに入射した中性粒子数のカウント数、横軸がトラップにビームが入射してからの時間を示している。CO⁺とCO₂⁺がトラップされ、時間の経過とともに蓄積イオン数が指数関数的に減少していることが確認できる。また、図3から明らかのようにCO⁺とCO₂⁺で寿命が異なっている。蓄積されたイオンが中性化だけによって減少するとすると、寿命τは

$$\tau = \frac{1}{\sigma n v}$$

で表せる。σは電子捕獲断面積、nはトラップ内残留ガス原子数密度、vはイオンの速度である。nはトラップ内真空度、vはイオンの運動エネルギーから求めることができる。トラップ内の反射電極付近でイオンの速度は変化するが、低エネルギー領域では衝突断面積が速度に依存せず、一定であると仮定して断面積を求めた。得られた断面積はCO⁺が2.3×10⁻¹⁵ cm²、CO₂⁺が2.2×10⁻¹⁵ cm²でありCO⁺とCO₂⁺の電子捕獲断面積はこの領域ではほとんど同じであるという結果が得られた。