

2B16

フォントラップ磁気分光法 I: イオントラップに捕捉したマンガンイオンの光吸収とゼーマン分裂†

(豊田工大*, (株)コンボン研**) 寺寄 亨*, 間嶋拓也**, 近藤 保*

【序】金属クラスターの特異な磁気特性を解明する目的で、トラップしたクラスターイオンの微弱な光吸収をフォントラップ法[1,2]で超高感度検出し、磁場中で磁気光学効果を捉える「フォントラップ磁気分光法」を開発した[3]。これまでに、イオン生成、サイズ選別、イオントラップの運転を開始し、電流量約 1 nA のクラスターイオンを生成し、空間電荷制限値に近い約 10^9 個を最大 5T の磁場中に蓄積することに成功した。さらに、光学測定の前段階としてマンガン単量体イオン Mn^+ の光吸収を取り上げ、260 nm 近傍で 3 本の光吸収線 (${}^7P_{2,3,4} \leftarrow {}^7S_3$) を捉え、磁場を印加して Zeeman 分裂、Faraday 回転の検出に成功した。

【実験】実験装置を図 1 に示す。マグネトロンスパッターイオン源で発生した金属原子・イオンを液体窒素温度の He ガス中で凝集させて金属クラスターイオンを生成し、八極子イオンガイド OP1 で搬送した後、四重極偏向器 QD1 で分析部へ導いた。四重極質量フィルター MS1 で質量選別したイオンを QD2 で再び偏向し、イオントラップとして動作する OP5 へ導入した。OP5 の入口電極 L_{in} の電位をわずかに越えて入射したイオンが、バッファ He ガスとの衝突で減速され、高い電位に設定された出口電極 L_{out} との間に蓄積された。これらを納めた真空槽を超伝導磁石のボア (100 mm) 内に挿入し、長さ 400 mm、内径 10 mm のイオントラップを均一度 1% の磁場内に設置した。磁場で偏曲するイオンビームの軌道を磁場に直交する電場 (VD1, VD2) で補正し、5 T 印加時にも十分なイオン量が確保できるように工夫した。

イオントラップの動作試験を銀クラスターイオン Ag_n^+ で行った結果、数量体のクラスターイオンについて、サイズ選別後に 1 nA レベルのイオンビームが得られ、1 秒程度のイオン注入時間で約 10^9 個をトラップできることを確認した。イオン密度は約 $3 \times$

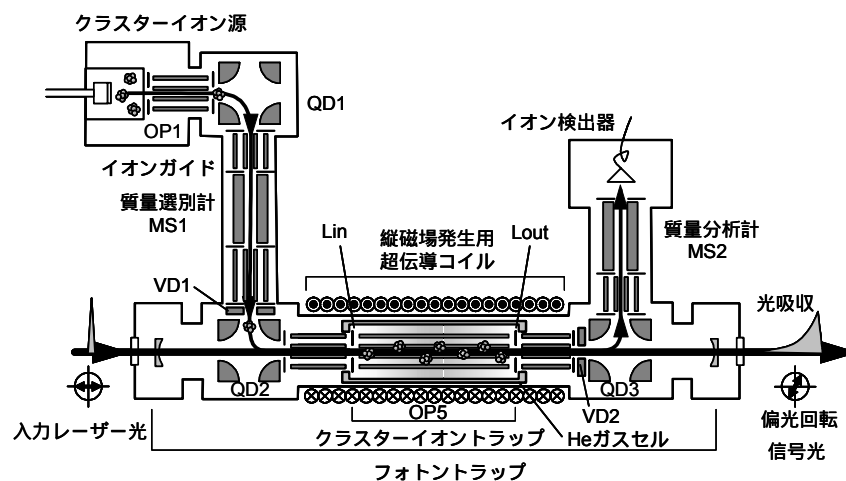


図 1 フォントラップ磁気分光実験装置

10^7 cm^{-3} であり、空間電荷制限値に近い高密度に相当する。

一方、光計測部では、イオントラップの両端外側に高反射率ミラーを配置して長さ約1.6 mのフォントラップ共振器を構成し、共振器に閉じ込められた光とトラップされたイオンとを相互作用させた。光源には10 Hzで動作する光パラメトリック発振レーザーの第2高調波を用いた。イオンが光を吸収すると光閉じ込め寿命が短くなる原理(フォントラップ法)を利用して微弱な光吸収を検出した。さらに、光学系に偏光素子を加えて偏光回転を計測し、Faraday回転スペクトルを得た。

【 Mn^+ イオンの光吸収スペクトル：微細構造、超微細構造と Zeeman 分裂】

クラスターの実験に先駆けて行ったマンガン単量体イオン Mn^+ の測定結果を図2に示す。基底状態 $^7\text{S}_3$ からスピン-軌道相互作用で分裂した励起状態 $^7\text{P}_{2,3,4}$ への遷移が260 nm近傍に観測された。各遷移にはMn核スピン($I=5/2$)による超微細構造が現れた。磁場を印加するとこれらの吸収線は分裂し、その形状は始・終状態のg因子と各Zeeman副準位間の遷移確率とから計算されるスペクトルとよく一致した。偏光回転計測で得られたFaraday回転スペクトルについても報告する。

以上は光強度を2 $\mu\text{J/pulse}$ 程度に弱めた直線偏光での測定結果であるが、右(左)回り円偏光を用いると、図2(c)に相当する磁場下のスペクトルには青(赤)方シフト成分だけが観測された。一方、50 G程度の微弱な磁場の下で約200 $\mu\text{J/pulse}$ に強めた円偏光を用いて測定を行った結果、光ポンピング作用による Mn^+ のスピン分極を見出した。すなわち、 $^7\text{P}_2$, $^7\text{P}_3$ への吸収が消失する一方で、 $^7\text{P}_4$ への吸収は超微細構造の中の単一の遷移だけが検出された[3]。

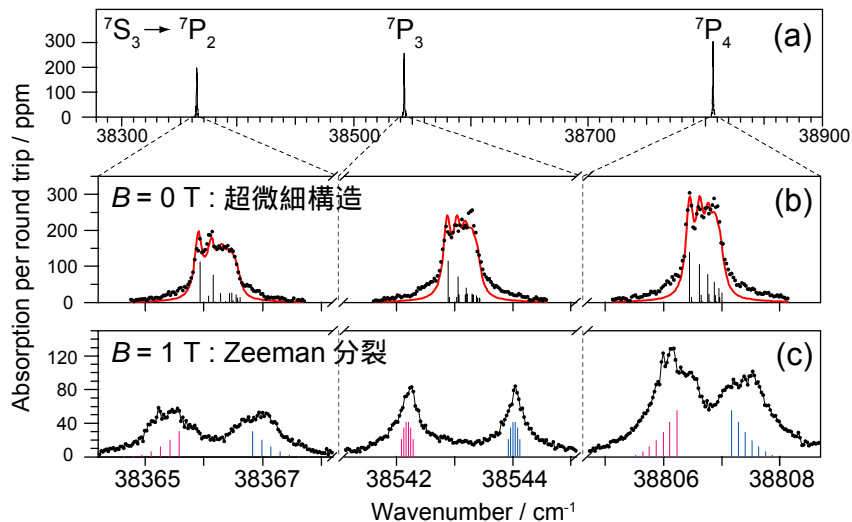


図2 Mn^+ ($^7\text{P}_{2,3,4} \leftarrow ^7\text{S}_3$) 光吸収スペクトル：(a) 微細構造、(b) 超微細構造、(c) Zeeman分裂

†本研究は(株)コンポン研究所の研究プロジェクトの一環として行われた。

[1] A. Terasaki, T. Kondow, and K. Egashira, J. Opt. Soc. Am. B **22**, 675 (2005).

[2] 江頭、寺寄、近藤：本討論会 4P019.

[3] 間嶋、寺寄、近藤：本討論会 3P034.