

フォントラップ磁気分光法 II： マンガンイオンの光ポンピングとスピン偏極

((株)コンボン研*・豊田工大**) ○間嶋拓也*, 寺寄亨**, 近藤保**

【序】 最近我々は、クラスターイオンの磁気光学特性を研究するための新しい実験装置として、フォントラップ磁気分光法を開発した[1]。本分光法の特徴は、イオントラップと光共振器を組み合わせることでクラスターの微弱な磁場応答を検出できることであるが、本研究では、この手法が大量捕捉したイオンのスピン偏極状態の生成・観測にも応用できることを示す。スピン偏極状態の生成は、光ポンピング法を用いて行う。光ポンピングは、円偏光 σ^+ (σ^-)の吸収と自然放出のサイクルを繰り返すことにより、最も高い(低い)ゼーマン副準位だけを占有状態にする方法である。主にアルカリ原子を対象に、連続光源を用いてこれまで多くの研究が行われてきた。ポンピングに要する時間にわたって励起光を持続する必要があるが、10ns程度のパルス光源ではパルス時間が短いことが問題となる。そこで、パルス光を光共振器に入射すると共振器内を往復する過程で実効的なパルス幅が拡大されることに着目し、パルスレーザーでの光ポンピング法を考案した。本発表では、260nm近傍の紫外パルスレーザー光を用いて、マンガン原子イオン(Mn^+)のスピン偏極実験を行った。 Mn^+ の基底状態は 7S_3 であり、3d遷移金属イオンの中でも最も高いスピン磁気モーメント($6\mu_B$)を持つ。従来のアルカリ原子標的($1\mu_B$)に比べて、極めて高いスピン磁気モーメントを持ったイオンの偏極に成功した。

【実験】 実験装置の概略を図1に示す。マグネトロンスパッタ源で生成した Mn^+ イオンを四重極質量フィルターで選別し、線形イオントラップへ導いた。イオンの搬送には八極子イオンガイドOPと四重極偏向器QDを用いた。イオントラップは、OPと入出口電極およびHeバッファガスからなり、約 10^8 個のイオンを蓄積した。イオントラップの両側には高反射率ミラーを配置し、フォントラップ(キャビティリングダウン)分光法により Mn^+ イオンの光吸収を直接測定した[1]。光源にはOPOレーザーを用い、 $\lambda/4$ 波長板で円偏光にしたのち、共振器へ入射した。スピン偏極は約 $200\mu J$ のレーザーパルスエネルギーで行い、更に比較の

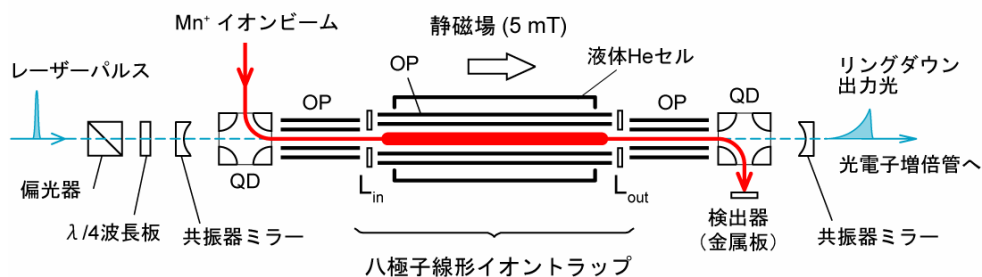


図 1. 実験装置概略図. OP: 八極子イオンガイド. QD: 四重極偏向器

ため、スピン偏極を起こさない低いパルスエネルギー約 $2\mu\text{J}$ での測定も行った。トラップ領域には弱磁場(5mT)を印加した。

【結果】 図2に ${}^7\text{P}_3 \leftarrow {}^7\text{S}_3$ および ${}^7\text{P}_4 \leftarrow {}^7\text{S}_3$ 遷移の σ^+ 円偏光吸収スペクトルを示す。パルスエネルギー $2\mu\text{J}$ では、核スピン $I=5/2$ によって生じる全ての超微細構造がどちらの遷移にも観測されている。パルスエネルギーを $200\mu\text{J}$ に上げるとその様子は大きく変化し、 ${}^7\text{P}_4 \leftarrow {}^7\text{S}_3$ 遷移では唯一の吸収ピーク $F=13/2 \leftarrow F=11/2$ のみが観測され、 ${}^7\text{P}_3 \leftarrow {}^7\text{S}_3$ 遷移では超微細構造の全ての吸収線が消失した。

【考察】 これらの実験結果は、基底状態が($F=11/2$, $m_F=+11/2$)の量子準位へポンピングされていることを示している。なぜならば、励起状態 ${}^7\text{P}_3$ の最も高い全角運動量 F' は $11/2$ であり、基底状態から σ^+ 円偏光を吸収するために必要な $m_F=+13/2$ 準位が存在しない。したがって、光ポンピングの結果 ${}^7\text{P}_3 \leftarrow {}^7\text{S}_3$ 遷移は禁制となる。一方、 ${}^7\text{P}_4$ には($F'=13/2$, $m_F=+13/2$)状態が存在し、この遷移のみが観測されている。また、この遷移の吸収強度が大きく増加していることから、その占有数が増加していることが分かる。以上の結果は、最も高い全角運動量 F の偏極状態を示しており、核スピンも併せたスピンの偏極状態が生成されている。本装置では、質量選別したイオンのトラップが可能であるため様々なイオンへの応用が可能である。また、約 10^8 個という大量のイオンの偏極状態は、スピン偏極イオン源としての応用なども考えられる。

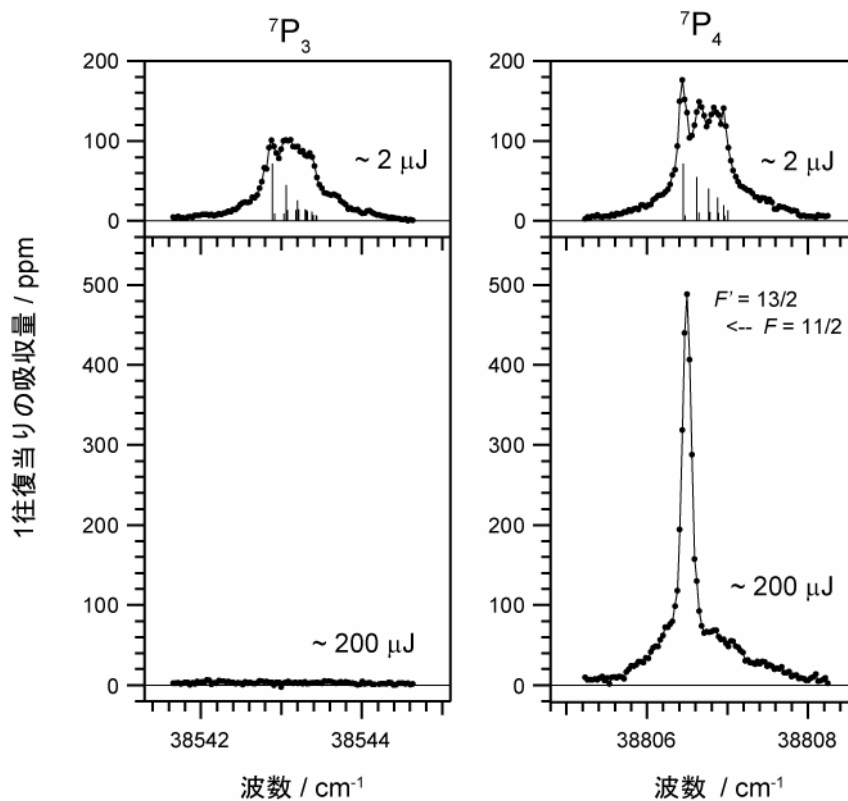


図2. ${}^7\text{P}_3 \leftarrow {}^7\text{S}_3$ および ${}^7\text{P}_4 \leftarrow {}^7\text{S}_3$ 遷移の σ^+ 円偏光吸収スペクトル。レーザーパルスエネルギーは(上)約 $2\mu\text{J}$ 、(下)約 $200\mu\text{J}$ 。