

電子 多価イオン衝突における

二電子性再結合過程の観測

山田千樫研究室 山田晋也

[概要]

我々の研究室では、電子と多価イオンの衝突による相互作用について研究している。多価イオンは、原子から多数の電子が剥ぎ取られたイオンである。例えば、Fe(原子番号26)から24個の電子を剥ぎ取り、2個の電子が残っているようなイオンをHe様Feイオンと呼ぶ。

[二電子性再結合]

二電子性再結合過程(Dielectronic Recombination:DR)とは、He様イオンを例にとると以下のような過程である。



この過程は図1のように、 $E_1 = E_2$ が成立するときのみ、つまりある特定の電子エネルギーでのみ共鳴的に起こる過程である。このような過程を調べることは、種々のプラズマ中の素過程を理解する上で非常に重要である。

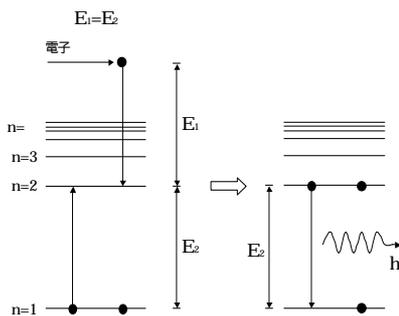


図1 二電子性再結合過程

[目的]

本研究では、結晶分光器を用いて、He様FeイオンにおけるDRの観測を行った。これまでこのような研究は半導体検出器を用いて行われてきたが、結晶分光器は半導体検出

器よりも高分解能であり、共鳴状態を分離した測定が可能である。しかしながら、効率の面で実験的に非常に困難であるため、これまで行われた例は少ない。

[実験方法]

実験は、Electron Beam Ion Trap (EBIT) と呼ばれる多価イオン発生装置を用いて行った。K-セルにより蒸気とした Fe をトラップに導入し、電子ビームにより逐次電離し He 様イオンを生成した。その後電子ビームのエネルギーを共鳴エネルギーに変化させ、結晶分光器で He 様イオンの DR により発せられる X 線を観測した。共鳴エネルギーでは He 様イオンが再結合により Li 様イオンになってしまうため、短時間のうちに、電子ビームのエネルギーをイオン生成エネルギーに戻し、価数分布を維持する。そしてその後、電子ビームのエネルギーを再び共鳴エネルギーに変化し、DR を観測するというサイクルを繰り返した。図 2 に簡略の装置図を示す。分光結晶としては、Li(200)を用い、検出器としては位置敏感型比例計数管を用いた。

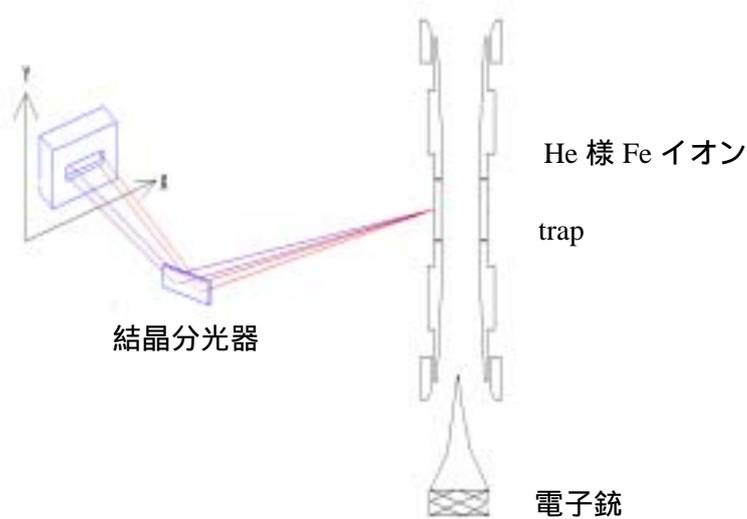


図 2 実験装置概略図

[結果]

図 3 に結晶分光器により得られたスペクトルを示す。これまでの半導体検出器を用いた測定では分離できなかった 1.8 付近のピークが、数本のピークに分かれており、分離できていることが分かる。以下、その強度を調べることで各共鳴状態の共鳴強度を求めた。

図 4 に、図 3 をガウス関数でフィッティングしたもの（青線）と理論的な衛星線強

度因子を、実験で得られたスペクトルと合わせて示した。実験で得られたスペクトルと理論による強度因子はおおよそ一致していると言える。実験では理論よりも多くのピークが見られているが、これは He 様 Fe イオン以外のイオン (Li 様 Fe イオン等) の DR による寄与であると考えられる。

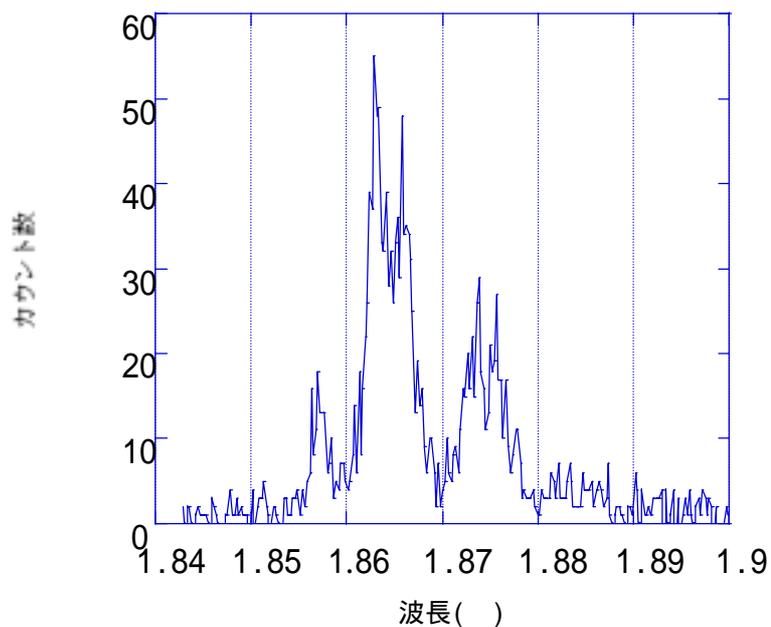


図3 結晶分光器により得られたスペクトル

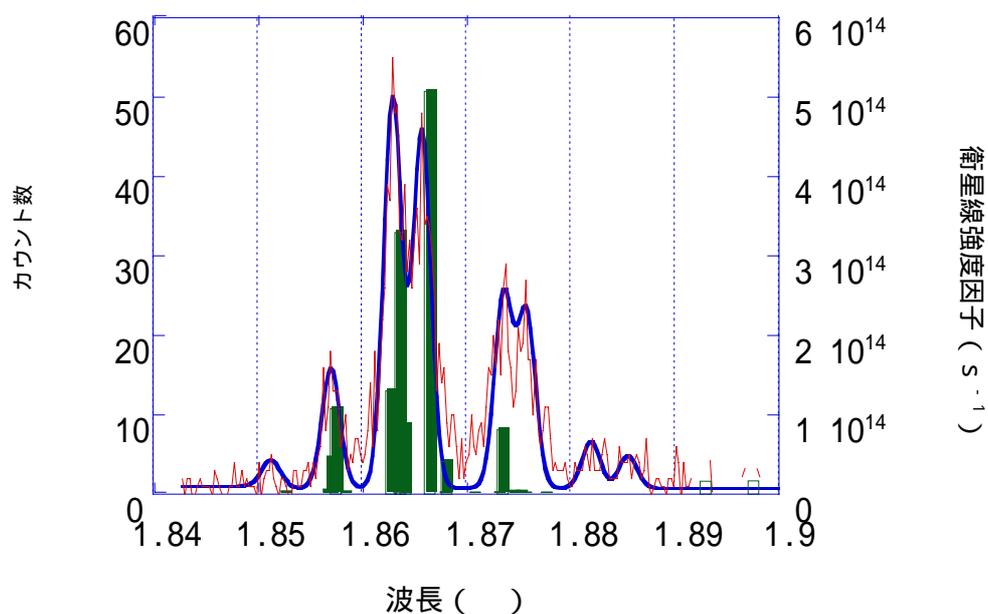


図4 フィッティングと衛星線強度因子をあわせたスペクトル(赤線と青線の縦軸は左軸、緑線の縦軸は右軸)

フィッティングにより得られた強度比を、過去の実験において得られた KLL 共鳴強度（各共鳴状態の共鳴強度に対して和をとったもの）に規格化することにより、各ピークに対応する共鳴状態の共鳴強度を求めることができる。本実験で得られた共鳴強度を表 1 にまとめた。理論との比較により、各ピークに対応する共鳴状態を同定した。

表 1

transition	area	ratio	resonant strength(cm ² eV ⁻¹)
$1s_{1/2}2p_{3/2}2p_{3/2} - [K]2p_{3/2}$			
$1s_{1/2}2s_{1/2}2p_{3/2} - [K]2s_{1/2}$	0.0326	0.00891	6.59E-20
$1s_{1/2}2p_{3/2}2p_{3/2} - [K]2p_{3/2}$			
$1s_{1/2}2p_{1/2}2p_{3/2} - [K]2p_{1/2}$	0.107	0.292	2.16E-19
$1s_{1/2}2s_{1/2}2p_{1/2} - [K]2s_{1/2}$			
.			
$1s_{1/2}2p_{3/2}2p_{3/2} - [K]2p_{3/2}$	0.0974	0.266	1.97E-19
$1s_{1/2}2p_{1/2}2p_{3/2} - [K]2p_{3/2}$	0.0526	0.144	1.06E-19
$[K]=1s_{1/2}^2$			

[まとめ]

結晶分光器を用いた高分解能 X 線分光により、Fe²⁴⁺ の二電子性再結合の観測を行った。これまでの半導体検出器を用いた測定では分離することのできなかつた各共鳴状態からのスペクトル線を分離することに成功した。分離されたピークを同定し、それらの強度比を調べることで、各共鳴状態ごとの共鳴強度を実験的に求めることができた。