

極端紫外分光器の開発

中村研究室 0923019 福井公孝

「背景・目的」

様々な X 線観測衛星が観測している太陽風の電荷交換に起因する軟 X 線発光スペクトルには、地上では観測に難しい禁制遷移が許容遷移と同程度の強度で観測されている。その詳細な理解には、禁制遷移の発光断面積などのデータを基に原子物理学な視点から考察することが不可欠になっている。多価イオンの電荷移行反応によって生成する励起状態は、価数が高いほど主量子数の大きな状態であることが実験的にも知られており、理論的にも理解されている。そのため、衝突後の脱励起過程においては基底状態への軟 X 線放射だけでなく、励起状態間遷移も観測される筈である。この極端紫外分光器は、この励起状態間遷移を観測するための分光器であり、電荷移行反応によって生じる禁制遷移の発光断面積を測定することが最終的な目的となる。本研究はそのための極端紫外分光器の開発を行い、主にその構成品であるミラー部分の評価を行った。

「実験装置」

本研究で製作した極端紫外分光器（以下新分光器）の構成を図 1 に示す。新分光器は主にシリンダリカルミラー、スリット、回折格子、冷却型 CCD から成っている。標的原子との電荷移行衝突により生じる励起多価イオンからの発光はシリンダリカルミラーによりスリットに集光され、回折格子により波長弁別された後、冷却型 CCD において検出される。回折格子は 1200 (mm/本) の平面結像凹面回折格子を使用した。

本分光器は、首都大学の ECR イオン源を用いた衝突実験で使用するために製作したものであるが、本研究では分光器の試験のため、より輝度の高い小型電子ビームイオントラップ (CoBIT) [1] を光源として用いた。これを図 2 に示す。CoBIT は主に 10~30 価程度のイオン生成に適しており、電子ビームエネルギー~2.5KeV、ビーム電流~20mA、中心磁場~0.2T を最大としている。

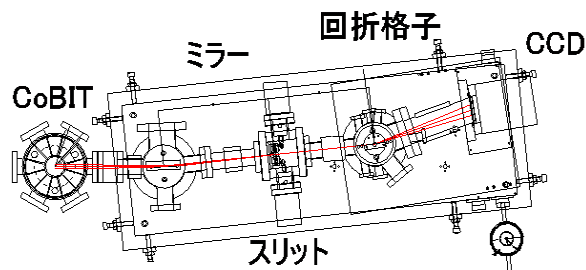


図 1：極端紫外分光器概略図

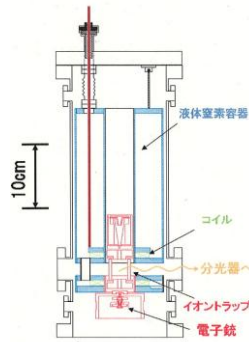


図 2 : 小型電子ビームイオントラップ概略図 [1]

「実験」

本研究では、特にミラーの性能を評価することを目的に、図 3 のような実験装置で観測を行った。同じ光源からの発光を新分光器（極端紫外分光器）と本研究室の既存のスリットレス分光器で同時測定することにより、ミラーおよびスリットで損失する光量を評価することが目的である。スリットレス分光器はスリットとミラーがなく光源からそのまま回折格子に光が入射する構造になっている。CoBIT 光源は～0.5mm 程度の幅の線状光源であるのでスリットレス分光器による分光が可能となっている。太陽風の電荷交換反応では、酸素など軽元素多価イオンの発光が主となるが、今回は極端紫外域で特に強い発光を持つ Sn 多価イオンからの発光を用いた。双方の分光器で得られたスペクトルの強度をシミュレーション結果と比較することでミラーの評価を行った。

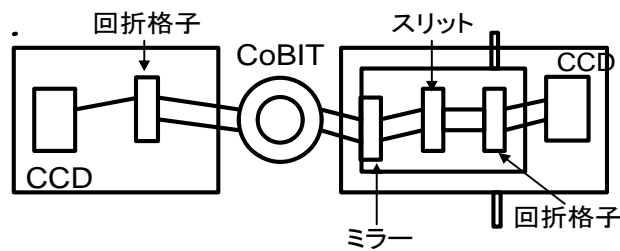


図 3 : 実験装置概略図

「結果」

スリットレス分光器のスペクトルを図 4、図 5、それと同時に測定した新分光器のスペクトル（スリット幅 200 μm 、500 μm ）を図 6、図 7 に示す。左部分の最も強度の強いピークについて、それぞれの分光器で得られた信号強度を表 1 に示す。シミュレーション結果は SHADOW [2] による光線追跡計算結果であり、ミラーの反射率は 100%としている。また、スリットレス分光器は機械刻線回折格子、新分光器はホログラフィック回折格子であるため、それぞれによる効率の違いは [3] を参考にして計算に入れている。

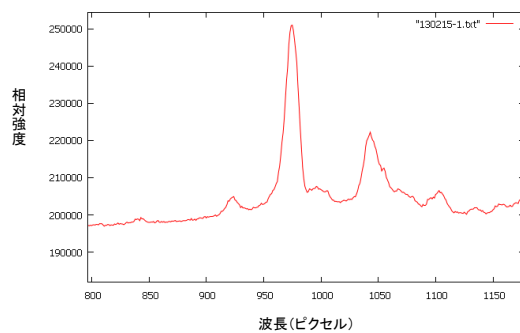


図 4：スリットレス分光器によるスペクトル
(新分光器のスリット幅が $200 \mu\text{m}$ のときに同時測定)

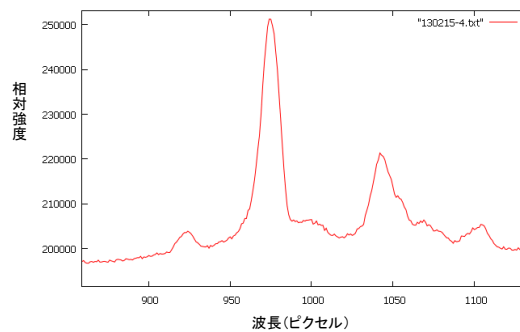


図 5：スリットレス分光器によるスペクトル
(新分光器のスリット幅が $500 \mu\text{m}$ のときに同時測定)

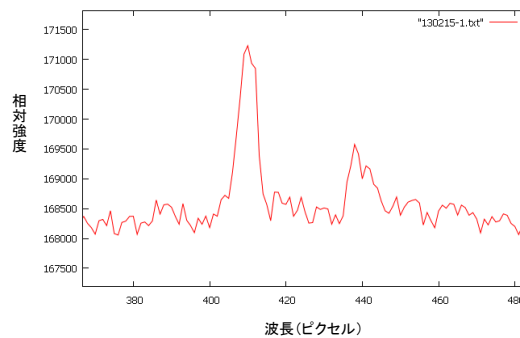


図 6：新分光器によるスペクトル (スリット幅 $200 \mu\text{m}$)

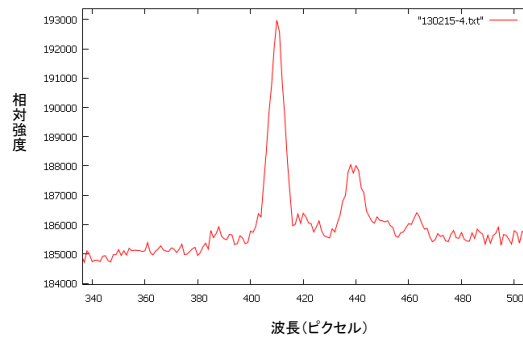


図 7：新分光器によるスペクトル（スリット幅 $500\ \mu\text{m}$ ）

スリット幅 (μm)	スリットレス分光器 カウント数	新分光器 カウント数	測定による 比率 (%)	シミュレーションによる比率 (%)
200	1082530	16578	1.5	~2.2
500	1088312	48312	4.8	~4.4

表 1：測定とシミュレーションの比率比較

「考察」

それぞれの回折格子の製作方法（機械刻線とホログラフィック）の違いによる反射効率も含むと、今回の測定結果は非常にシミュレーション結果と近い値になっていることがわかる。つまり、ミラーの反射率としては十分な値が得られていると考えられる。また、ミラーの反射率の他、アライメント（位置調整）も特に強度に影響すると考えられるので、首都大学の衝突実験に設置する際は注意が必要である。今回の実験では長波長用の 1200 （本/mm）の回折格子を使用していたので、今後は短波長用の 2400 （本/mm）の回折格子を使い実験を行いたい。

「参考文献」

- [1] 中村・大谷、日本物理学会誌 52（1997）
- [2] SHADOW GUI version 1.1.2 <http://www.nanotech.wisc.edu/shadow/binaries/>
- [3] Malay Bikas Chowdhuri, Shigeru Morita, Motoshi Goto, Hiroaki Nishimura, Kenji Nagai, and Shinsuke Fujioka REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 78,023501（2007）