

国際宇宙ステーション(ISS)に搭載する 極端紫外光撮像装置EUVIの 光学系性能報告

本間達朗^{*1),*} (homma@eps.s.u-tokyo.ac.jp)、
酒井恒一^{*1)}、石井宏明^{*1)}、村上豪^{*1)}、
吉岡和夫^{*2)}、吉川一朗^{*1)}

^{*1)}東大・理、^{*2)}立教大・理

本発表の要旨

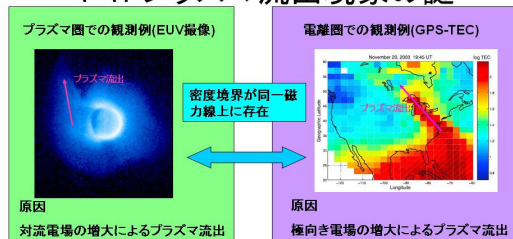
電離圏、プラズマ圏において、プラズマの流出現象がそれぞれ観測されている。2領域での流出現象は同一のものだと考えられるが、その流出を引き起こす電場の起源については理解されていない。

そこで我々は、電離圏とプラズマ圏の境界領域におけるプラズマの密度勾配を撮像観測する装置を開発し、この問題の解明に取り組む。

我々は、撮像に用いる球面反射鏡と検出器を改良することで、従来のプラズマ撮像と比べて混入光の少ない光学系の開発に成功した。

1. 研究背景

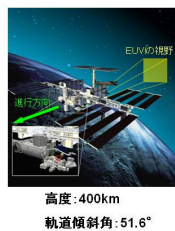
1-1. プラズマ流出現象の謎



プラズマ圏と電離圏それぞれにおいて、プラズマ流出を起こす電場構造が考えられているが、その起源がどちらにあるのかわかっていない。
この起源を理解するためには、水平方向に数百kmのスケールでプラズマの上昇・下降を捉えることが重要である。

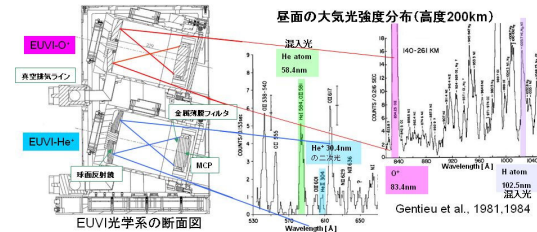
1-2. 本研究の概要

- 極端紫外光撮像装置EUVI (Extreme UltraViolet Imager)は2012年初頭打ち上げ予定のISS-IMAP (Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere, and Plasmasphere mapping) missionの一部であり、国際宇宙ステーション(ISS)から軌道後方の電離圏、プラズマ圏を撮像する装置である。
- 光学系に用いる素子の候補について、その性能の波長依存性を評価した。候補からS/N比を最大にする光学素子を選定した。



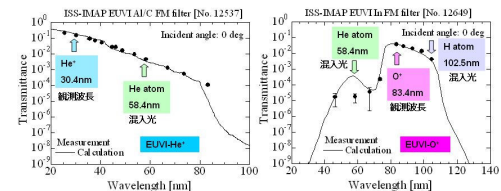
2. 光学素子の性能評価

2-1. EUVIの光学系構成



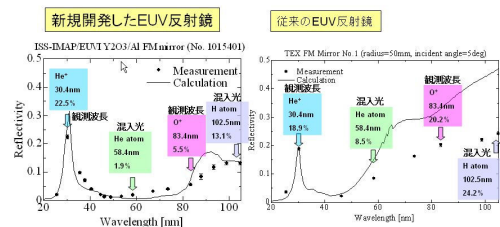
EUVIは二つの光学系を持ち、それぞれHe⁺(30.4nm)とO⁺(83.4nm)の共鳴散乱光を集光・撮像する。観測波長以外ではHe atom(58.4nm)とH atom(102.5nm)の共鳴散乱光が混入するため、これらの光を遮断する工夫が必要となる。光学系は金属薄膜フィルタ、球面反射鏡、Microchannel Plate (MCP)で構成される。大気中の水分により、光学素子が劣化するのを防ぐため、鏡筒内部の真空度を10Pa以下に管理する。

2-2. 金属薄膜フィルタの透過率



- EUVI-He⁺: Al/Cフィルタを用いる。観測波長(30.4nm)以外では、He atom(58.4nm)の共鳴散乱光が混入する。
- EUVI-O⁺: Inフィルタを用いる。観測波長(83.4nm)以外では、He atom(58.4nm)とH atom(102.5nm)の共鳴散乱光が混入する。

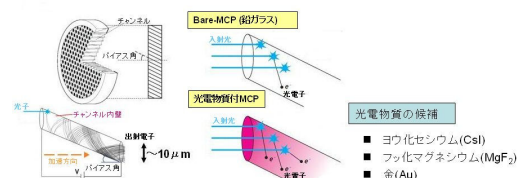
2-3. 多層膜鏡の反射率



新規開発したY₂O₃/Al多層膜反射鏡は、従来のEUV撮像に用いられたMo/Si多層膜反射鏡に比べ、混入するHe atom(58.4nm)とH atom(102.5nm)の共鳴散乱光に対する反射率が低く、S/N比を向上させることができる。

2-4. MCPの感度

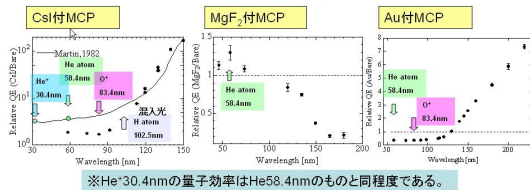
2-4-1. MCPの量子効率を向上させる方法



MCPは光電効果による電子雪崩を利用し、1個の光子を多数の電子に変換することで、EUVを検出する装置である。

MCPの感度(量子効率)を向上させるために、チャンネル入口付近に光電子を放出し易い物質(光電物質)を塗布する。

2-4-2. 光電物質を塗布したMCPの量子効率



- CsI付MCPを使用する場合、Bare-MCP(鉛ガラス)に比べ2倍程度感度が向上することがわかった。
- MgF₂付MCPを使用する場合、Bare-MCPに比べて感度の大幅な向上は見込めないことがわかった。
- Au付MCPを使用する場合、Bare-MCPよりも感度が低下することがわかった。

2-5-1. EUVI-He⁺の検出効率

EUVI-He⁺

EUVI-He⁺は他波長の混入が極めて少ないため、観測波長(30.4nm)において量子効率が最大となるCsI付MCPが最適である。

	観測波長(nm)	フィルタ透過率 T	ミラー反射率 R	MCP量子効率 QE	検出効率 (cps/Rayleigh)
S	30.4nm (He II)	1.5*10 ⁻¹	2.2*10 ⁻¹	1.3*10 ⁻¹	4.2*10 ¹
N	58.4nm (He I)	4.6*10 ⁻²	1.9*10 ⁻²	3.0*10 ⁻¹	2.6*10 ¹

MCPの読み出し雑音は10cps程度である。

昼面大気光の典型的な光量の比は、

He⁺(30.4nm) : He atom(58.4nm) = 1 : 10であるから、

EUVI-He⁺のS/N比は $(S/N)_{CsI} = 16$ である。

2-5-2. EUVI-O⁺の検出効率

EUVI-O⁺

EUVI-O⁺の光学系は他波長の混入が多いため、S/N比から光電物質を決める。

	入射光波長(nm)	フィルタ透過率 T	ミラー反射率 R	量子効率 Bare CsI	検出効率 (cps/Rayleigh) Bare CsI
N	58.4nm (He I)	1.8*10 ⁻²	1.9*10 ⁻²	8.4*10 ⁻² 3.0*10 ⁻¹	2.8*10 ⁻² 1.0*10 ⁻¹
S	83.4nm (O II)	3.8*10 ⁻²	5.5*10 ⁻²	8.0*10 ⁻² 3.4*10 ⁻¹	1.7*10 ⁻² 7.1*10 ⁻²
N	102.5nm(H I)	4.3*10 ⁻²	1.3*10 ⁻¹	4.7*10 ⁻² 3.3*10 ⁻¹	2.6*10 ⁻² 1.8*10 ⁻²

※MCPの読み出し雑音は10cps程度と極めて少ないため、ノイズは混入光が支配的である。

昼面大気光の典型的な光量の比は、

He atom(58.4nm) : O⁺(83.4nm) : H atom(102.5nm) = 1 : 25 : 20であるから、S/N比は右記のようになる。

EUVI-O⁺のS/N比を向上させる光電物質は3つの候補の中には存在しないため、Bare-MCPを用いる。

$$(S/N)_{Bare} = 8.2$$

$$(S/N)_{CsI} = 5.0$$

3. まとめ

- 従来のEUV撮像に用いられたMo/Si多層膜反射鏡よりも、混入光の反射率が低いY₂O₃/Al多層膜反射鏡を新規開発し、使用することを決定した。
- EUV撮像のS/N比を最大にする光電物質を検討し、EUVI-He⁺にはCsI付MCPを、EUVI-O⁺にはBare-MCPを用いることに決めた。
- 較正試験の結果、EUVI-He⁺のS/N比は16、EUVI-O⁺のS/N比は8.2であることがわかった。
- ISS-IMAP/EUVIは2012年初春から観測を開始する予定である。