

SOLAR-C光学望遠鏡(SUVIT): 偏光分光観測装置の光学系検討

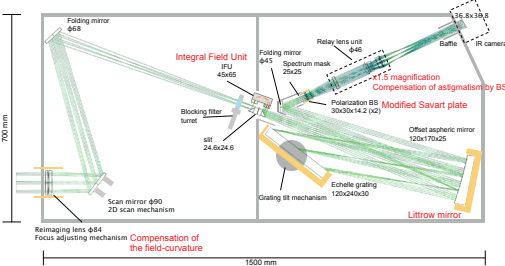
勝川行雄, 原弘久, 末松芳法, 鹿野良平, 鹿島伸悟 (国立天文台)

一本潔 (京都大), 清水敏文 (ISAS/JAXA), H. Lin (ハワイ大学), SOLAR-C WG



SOLAR-Cにおける彩層偏光分光観測

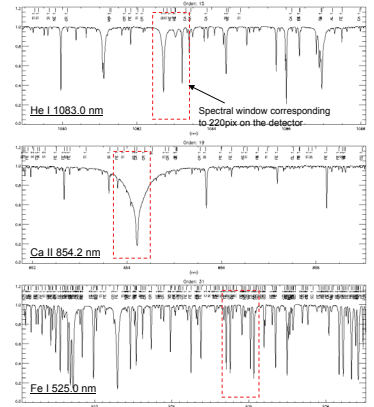
次期太陽観測衛星SOLAR-Cでは、高精度偏光分光観測により光球に加えて彩層の磁場診断を実現することが最重要要求である。分光器光学系について、リトロー鏡やリレーレンズ系等の最適化を行い波長範囲500nm-1.1μmにおいて空間・波長分解能要求を実現する光学設計を行うとともに、製造・設置誤差配分を行なった。本装置の特徴は、従来のスリット(1次元)分光に加え、2次元同時に偏光分光情報取得する面分光装置を搭載することである。光学ファイバーを用いた面分光装置の基礎開発を行っている。



Type	Littrow spectrograph
Entrance pupil	56.6 mm
Focal length (feed optics)	1414.4 mm (F/25.0)
Focal length (spectrograph)	720 mm (F/7.8)
Detector size	2048 x 2048, 18 μm/pixel
Pixel scale	0.07 arcsec/pixel in the spatial direction
Blaze angle	63.4° (R2 grating)
Groove density	110 /mm
Grating size	120mm x 240mm
Slit spectrograph	
Spatial sampling	0.07" by the slit width of 12 μm
FOV	143" along the slit (single slit)
Spectrum resolution	[sampling (slit width = pixel size)] $\lambda/\Delta\lambda = 2.4 \times 10^5$ [grating size] $\lambda/\Delta\lambda = 2 \times 10^5$
IFU spectrograph	
Spatial sampling	0.18" by the slit width of 30 μm
FOV	9.0" x 8.6" is converted into three slits.
Spectrum resolution	[sampling (slit width = pixel size)] $\lambda/\Delta\lambda = 1 \times 10^5$ [grating size] $\lambda/\Delta\lambda = 3 \times 10^5$

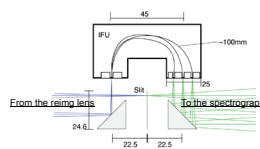
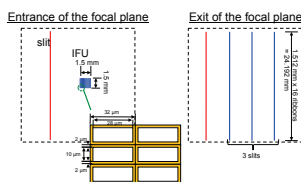
Wavelength bands	1083.0 nm	854.2 nm	525.0 nm
Spectrum line	He I	Ca II	Fe I
Diffraction order	15	19	31
Wavelength sampling	45.2 mÅ	35.6 mÅ	21.9 mÅ

SOLAR-C SUVIT偏光分光装置で観測するスペクトル。光球と彩層の磁場を観測するのに最適な3つのスペクトル帯を選択。

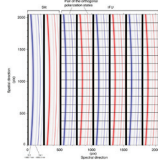


面分光装置(IFU): スリットとの両立

面分光装置は2次元同時に偏光分光情報取得できる一方、スリット分光はスルーブットや波長分解能の点で有利である。そこで、通常のスリットと面分光装置をどちらも焦点面上に配置する。検出器の読み出し範囲を切り替えることで、スリット分光と面分光装置の2つのモードを切り替える。

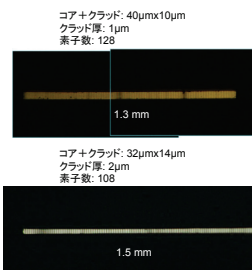


観測データの例 (He I 1083 nm)



矩形コアファイバーの開発

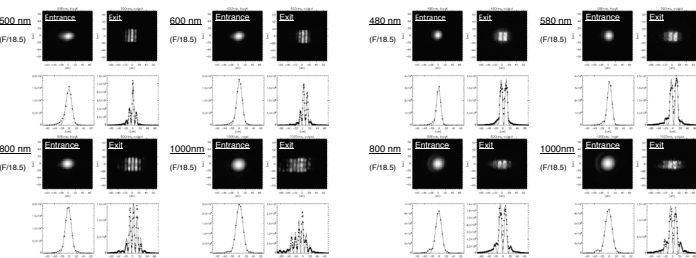
ハワイ大学(H. Lin)が開発した幅40μm、クラッド厚1μm矩形コアを1次元的に配列したファイバーリボン(材料はホウケイ酸ガラス)を入手し、面分光装置への応用に必要項目の検証を行なった。また、SOLAR-Cで要求される波長分解能を実現するため、幅を32μmにし、さらに近赤外線域でのクロストークを低減するため、クラッド厚を2μmにしたものをCollimated Holes社(米国)と新規開発した。形状の良否や真直度が十分にある矩形コアリボンの開発に成功した。



クロストーク

充填率を上げるため、クラッド厚(1μm)を薄くすることが望ましいが、特に波長が長い場合に光が隣接するコアへ漏れだすことが懸念された。ファイバーへの入射プロファイルとファイバーからの出射プロファイルと比較することで隣接するファイバーコアに光が漏れ出しているかを測定した。

1μmクラッドの場合、出射光のサイズは波長とともに単調に増加する。近赤外線(λ>800nm)では有意な漏れ出しが観測された。入射光のF値が暗い(F>30)場合、漏れ出しは小さい事もわかった。漏れ出しを低減するため、クラッド厚を1μmから2μmにした矩形コアファイバーを開発した。その結果、観測で使う近赤外線域でのクロストークが低減化されていることを確認した。



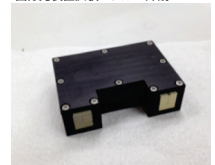
コア+クラッド: 40μm x 10μm
クラッド厚: 1μm

コア+クラッド: 32μm x 14μm
クラッド厚: 2μm

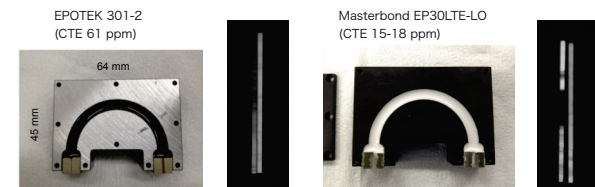
ファイバーリボンの保持構造

面分光装置は48本のファイバーリボン束を束ねることで構成される。耐打上環境のため、32μm幅の細いファイバーをエポキシ樹脂で筐体に固定する方式を検討した。その有効性を検証するため、2本のファイバーリボンから成る面分光装置の試験モデルを製作した。エポキシの固化や熱応力がファイバーの光学性能に与える影響について検証を行なった。

ファイバーをエポキシで固定した面分光装置試験モデルの外観

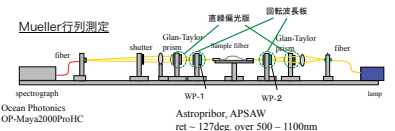


ファイバーの透過率を測定したところ、2本のリボンのうち1本の透過率が極めて低くなっていることがわかった。エポキシ樹脂によって発生していることを確認しており、固化収縮がファイバーに何らかの影響を与えてい可能性があり、対策を検討している。

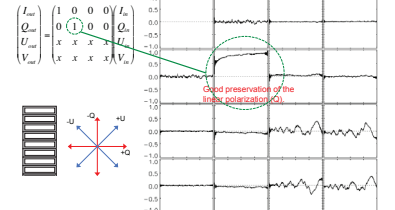


偏光保持性能

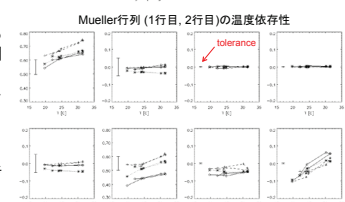
矩形コア形状の目的は、幾何学的な非等方性によって、偏光維持性能をもたせることである。ファイバーの長さや曲げ方によって、偏光維持性能(Mueller行列)がどう影響を受けるかを測定した。



ファイバーリボンを曲げた場合(固定無し)



高精度の偏光観測のためには、キャリブレーションによってMueller行列を十分な精度で把握する必要がある。その場合、各要素の安定性が問題になる。ファイバーリボン束をエポキシ固定した面分光装置試験モデルでMueller行列の温度依存性を測定したところ、要求より大きな変動(特にU→Q, V→Q成分)が見られた。CTE差による熱応力によるものと考えられ、対策を検討している。



今後の課題

ファイバーリボン固定による透過率劣化と偏光特性の温度依存性をどう改善するか。ファイバーへの応力を抑制するため、柔らかい樹脂を使った固定方式を検討。