

太陽ライマンα線偏光分光観測ロケット実験 CLASP搭載の半波長板の開発

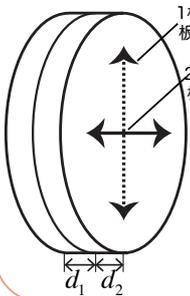
石川遼子, 鹿野良平, 坂東貴政, 末松芳法, 石川真之介, 久保雅仁,
成影典之, 原弘久, 勝川行雄 (国立天文台), 常田佐久 (ISAS/JAXA)
渡邊皓子, 一本潔 (京都大学), 青木邦哉, 宮川健太 (東京大学)

概要

我々は、太陽から放射されるライマンα輝線(121.567nm)での偏光分光観測を行う国際共同ロケット実験 Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter (CLASP)を推進している。CLASPの偏光解析装置には、連続回転させることで入射する直線偏光の方向を回転させる半波長板が必須となるが、ライマンα輝線で半波長板として働く波長板は既成品では存在しない。そこで我々は、(株)光学技研と協力してMgF₂製波長板の開発を行ってきた。分子科学研究所・極端紫外光研究施設(UVSOR)にて、試作波長板の真空紫外線領域での遅延量を測定し、MgF₂の複屈折率(異常光の屈折率n_eと常光の屈折率n_oの差分)を求めた。そして、この測定結果を元にフライト用半波長板を制作、UVSORで遅延量測定を行いCLASPの科学要求を満たすことを確認した。

CLASP用波長板

☆CLASP波長板の模式図



直線偏光を測定するには、半波長板と偏光板からなる偏光解析装置が必須となる(詳細は、鹿野講演参照)。CLASPで用いる波長板は、真空紫外線領域で最も短いカットオフ波長(115 nm)を持つMgF₂製で、2枚の板厚をわずかにずらしその異常光軸を直交させてオプティカルコンタクトで貼りあわせたものである(左図参照)。2枚のMgF₂板の板厚差をd₁-d₂、MgF₂の複屈折率(異常光と常光の屈折率差)をn_e-n_oとすると、その遅延量は

$$\delta = \delta_0 + 2\pi M = 2\pi \frac{(n_e - n_o)(d_1 - d_2)}{\lambda} \dots \text{式①} \quad (0^\circ \leq \delta_0 < 180^\circ, M = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

となる。波長板の設計には、MgF₂の複屈折率の情報が必要となるが、これまでライマンα線での精度の良い測定長年行われていない。そこで我々は、まず試作波長板を用いてMgF₂の複屈折率を実測した。そしてその実測値を元に遅延量が180°となるように板厚差を決定しフライト波長板の製作を行った。

☆測定を行った波長板の仕様

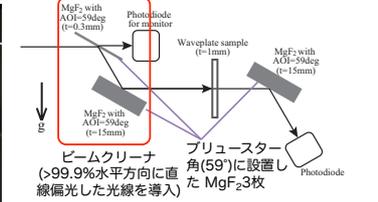
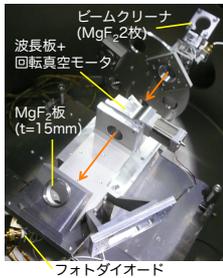
	試作波長板	フライト波長板
サイズ	Φ30mm	Φ30mm
厚み	1mm	1mm
板厚差	15.755 ±0.05 μm	14.495 ±0.05 μm
異常光軸の直交度	3'	4'15"
平行度	0.5"	1.1"

MgF₂複屈折率の測定手法

Ishikawa et al., Applied Optics (2013)

☆試験コンフィグ(左:実際の測定ジグ、右:測定模式図)

試験場所: 分子科学研究所・極端紫外光研究施設 (UVSOR)



☆測定される偏光モジュレーション

$$I(\phi) = \frac{1}{2} \left[(R_s + R_p) + (R_s - R_p) \left(\frac{1 + \cos \delta}{2} + \frac{1 - \cos \delta}{2} \cos 4\phi \right) \right]$$

φ: 水平方向に対する波長板の偏光主軸の角度
R_s (R_p): S (P)偏光に対する反射率@59°

☆MgF₂複屈折率の求め方

手順①: 試作波長板の遅延量の波長依存性を測定する

波長板の偏光主軸が0°と45°それぞれで強度の波長スキャンを行い、その比から遅延量δを求める(式②)

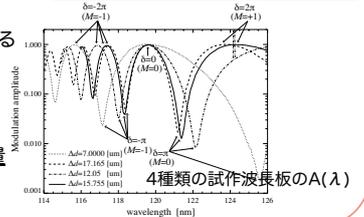
$$A(\lambda) = \frac{I(\phi = 45^\circ)}{I(\phi = 0^\circ)} = \frac{1}{2} \left[(1 + \text{PER}) + (1 - \text{PER}) \cos \delta(\lambda) \right] \dots \text{式②}$$

手順②: 遅延量の360°不定性を解く
板厚差の異なる複数の波長板のA(λ)を測定することで、遅延量の次数Mを決定する(右図)。

ポイント!
n_e-n_o=0となる波長ではM=δ=0のため、いずれの波長板でもA(λ)は極大を取る

手順③: 式①を用いて各波長で確定した遅延量から複屈折率を求める

ポイント!
δ = 360° × M となる波長でA(λ)極大
δ = 180° + 360° × M となる波長でA(λ)極小

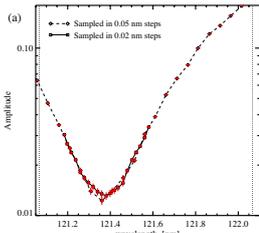


MgF₂複屈折率の測定結果

Ishikawa et al., Applied Optics (2013)

試作波長板(板厚差: 15.755 μm)のA(λ)

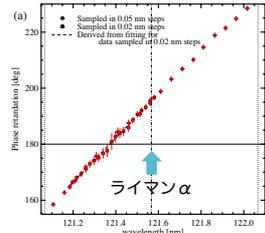
※波長域: ライマンα±0.5nm (CLASPの観測波長域)



横軸の誤差: 波長決定精度(0.01nm)
縦軸の誤差: 暗電流のゆらぎ起因

試作波長板(板厚差: 15.755 μm)の遅延量δ(λ)

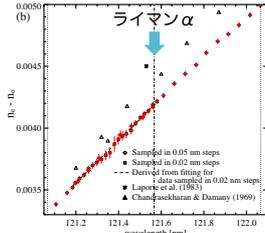
※波長域: ライマンα±0.5nm (CLASPの観測波長域)



横軸の誤差: 波長決定精度(0.01nm)
縦軸の誤差: 暗電流のゆらぎ, 板厚差誤差, 波長決定精度, 異常光軸の貼り合わせ誤差起因

MgF₂複屈折率 n_e-n_o

※波長域: ライマンα±0.5nm (CLASPの観測波長域)



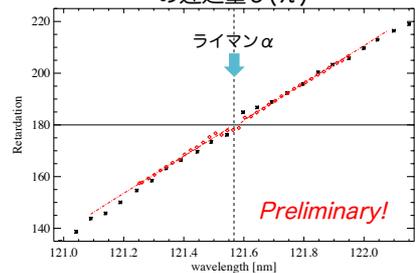
横軸の誤差: 波長決定精度(0.01nm)
縦軸の誤差: 遅延量誤差起因

試作波長板(板厚差:15.755 μm)のライマンαでの遅延量:
195.44 ± 1.8° (波長決定精度起因の誤差も含む)
⇒ n_e-n_o=0.004189 ± 0.000039 @ ライマンα (式①より)

フライト波長板の性能評価

ライマンαでの複屈折率の実測値より、半波長板となるための板厚差は14.51 μm。この設計値に基づいて製作したフライト波長板の遅延量測定を、UVSORにて行った。

フライト波長板(板厚差:14.495 μm)の遅延量δ(λ)



測定の結果、ライマンαでのフライト波長板の遅延量はほぼ180°であることが確認できた。さらに、CLASPの観測波長域(ライマンα±0.5nm)での遅延量も求めることができた。