

共同研究成果報告書

2020 年 10 月 20 日

研究代表者:

氏 名 早野 裕

所属・職 国立天文台先端技術センター 准教授

研究題目:TMT中間赤外線観測装置MICHlの要素技術開発:試験機での実証段階へ

中間赤外線昼間観測のためのNaレーザーガイド星昼間波面計測実験

1. 研究の実績

(1) 研究の実施日程

[illegible]

(2) 研究の成果の説明

レーザーガイドスターを薄明及び太陽が出ている間に利用することを実現するため、改良型の狭帯域磁気光学フィルターの開発とその安定性の評価に取り組んでいる。本年度は、信州大学の川原琢也氏とともに、フィルターの中心的な部品であるナトリウムセルを、高温ナトリウムに侵食されるガラス材料以外で製作するための技術的な検討と部分的な試作を実施した。

(1) ナトリウムセルの窓材の検討

フィルターでは観測光の偏光を制御するため、セル窓材は通過光の偏光に影響を与えない光学特性が必要となる。単結晶サファイアは、下記に示す高温ナトリウムに対して極めて強い耐性があるため窓材の有力な候補であり、昨年度から検討してきた。ただし、サファイアは結晶C軸に対して平行に入射する光に対しては偏光に影響しないが、入射角がC軸に対して角度を持つと偏光面が回転する。そのために窓材として使用可能かどうかの実験的な検証を行ってきたが、評価の途中である。

一方、別の結晶であるガリウム・ガドリニウム・ガーネット(GGG)も耐ナトリウム性を持ち、偏光依存性がない窓材であるという報告がある。入手先を調査検討した結果、φ30mm径で厚さ1.5mmのGGGの窓材の価格が1枚100万円以上、かつ納期がかかり年度内中に納品できないことが判明した。そのため、本年度はセルボディの材質、形状の検討と、製作を先行して進めることとした。

(2) ガラス以外の材質のナトリウムセルの製造方法の検討

ナトリウムセルは、窓とボディがガラス製の製品が市販されている。しかし、狭帯域磁気光学フィルターとして観測に使用するにはセルを200°Cの高温で使用するため、活性化した高温ナトリウムとガラスの反応による光学的特性の著しい劣化が、フィルター安定性の大きな問題となっている。それゆえガラスを使用せず、フィルターの仕様に特化したセルを材質から考え独自開発することにした。市販のガラス製セルは円筒形のセルボディに真空の引き口用のガラス管を取り付け、ガラス窓をオプティカルコンタクトで接着する。内部を真空引きした後にナトリウム蒸気を追い込んでガラス管を封じ切る製作方法をとる。同一材質のみで製作ができることと加工性の良さがガラスセルの特徴である。一方、光学部品としての透明窓材を含めた耐ナトリウム材質を選定し、その組み合わせでのセルを製作することには多くの課題がある。それらについて行った検討結果を以下にまとめる。

(a) 耐ナトリウム性を持つセルボディ、セル窓の材質の選定

文献調査の結果、単結晶サファイアは耐ナトリウム性能としては極めて優れているという報告があった。可視光の透明度も高い。ただし、上記(1)の偏光に関わる問題があり、継続して検討中である。ガラスまたは石英窓にアルミナの蒸着という窓を検討中である。サファイアボディは加工性が悪く材料コストが高い問題がある。代案としてアルミニウム(Al)ボディを検討した。Alは加工が容易で表面が酸化することで Al_2O_3 (サファイア) 皮膜を形成するため有力な候補となっている。ナトリウムセルは熱サイクルの影響を受けるため、ボディと窓との熱膨張率のマッチングも重要な検討事項である。

(b) 窓とボディの接合技術

窓とボディ材質が異なることを前提として接手法の検討を行った。接合部分に真空リークがなく、ナトリウムに侵食されないことも重要である。検討の結果、最先端技術技術である異種材質常温接手法に着目し、表面活性化接合と原子拡散接合を考えた。Alボディを用いる場合は原子拡散接合の方が拡張性が高いため、この手法での接合テストを進めている。

(c) 真空中で行うナトリウムの封入方法

ナトリウムの封入方法はガラスセルと別手法を取らざるを得ない。原子拡散接合は真空中で行うが、セルの窓を封じる前に、真空チャンバー内でナトリウムをセルに入れてから窓を封じる手法を検討している。この手法が実現すれば形状が非常に単純(円筒に窓がついただけ)で高性能のセルが実現する。

以上の検討に基づき、Alセルの製作に入った。本年度は、窓接合面を高精度研磨したAlセル円柱ボディーを複数製作した。セル窓の製作などは次年度以降の予算が獲得でき次第実施する予定である。

一方、ハワイ大学のMark Chun氏と連携して、ナトリウムD₂線超狭帯域フィルターを用いた日中観測の可能性の検討し、0.5nmの波長透過幅を持つフィルターで十分な効果があることを示し、2018年に論文にまとめた(Dungee et al. 2018)。その実証実験を行うための検討を進めており、0.5nmの波長透過幅を持つフィルターを製品化しているメーカーを発見した。製品化しているため、超狭帯域フィルターを特注で製作するよりも、はるかに安価な価格で入手可能となった。そのフィルターを購入し、今後の実証実験に使用することにした。

使用実績報告書

経費使用実績内訳

費 目	摘 要	数 量	金 額(円)	備 考
設備備品 費				
消耗品費	高真空セル用試験部品	8 個	66,000	100803736
	ポリシング用ヤトイ	2 個	44,000	100803736
	レンズおよび絞り	5 個	102,369	100804071
	0.5nm 幅光学フィルター	1 個	278190	ハワイ購入:\$2475.00
国内旅費				
国外旅費				
そ の 他	高真空セル用試験部品研磨(役務)	8	510,400	100804974
合 計			1,000,959	959 円を ATC で負担