

共同研究報告書

2022年 5月 16日

研究代表者：

氏名 西川 淳
 所属・職 国立天文台・助教

研究題目：焦点面位相マスクとアポダイザによるコロナグラフの開発

1. 成果報告

(1) 研究の実施日程

研究項目	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
位相マスク設計	○	○	○	○	○	●	●					
位相マスク製造 (+接着)							●	●	●	●	●	
位相マスク評価												●

(2) 研究成果

本年度の目標1)は、PSI-blueの帯域を600-1000nm (PSI b1とする)、950-1800nm (PSI b2とする)で覆う際に、3層化での限界を整理することである。成果は以下のとおりである。フォトリソ結晶波長板の位相差の波長依存特性 (PL社提供) を用いて、速軸方位角の違う3層構造でPancharatnam Phaseによる広帯域設計を行い、限界を確認した。6次の位相マスクでターゲットとなる2.6λ/D付近のコントラストは、エアリーの第2明環 (2.68λ/D) の強度で把握でき、2つの帯域での設計値は表1のようになった。第2明環で1e-4以下であれば、地上補償光学による生コントラスト (1E-3@2λ/D, 1E-05@7λ/D程度との予測) より低く、必要レベルの設計値を得ている。図1はそれらの波長特性で、青線はPSFpeak強度、赤線が第2明環の強度である。●は実測値 (後述)。他にも、HabEx Vis Blue (450-670nm) の設計を行っている。

表1

名称	波長帯域	中心波長	第2層方位角	PSFpeak強度	第2明環強度
PSI b1	600-1000nm	723nm	56.09°	1.75E-03	7.30E-06
PSI b2	950-1800nm	1127nm	51.69°	1.50E-02	6.25E-05

本年度の目標2)は、視直径の大きい近傍星に対しても高消光比を確保する6次マスク、12, 24, 48分割それぞれの得失を整理することである。成果は以下のとおりである。速軸方位を対称性と境界線

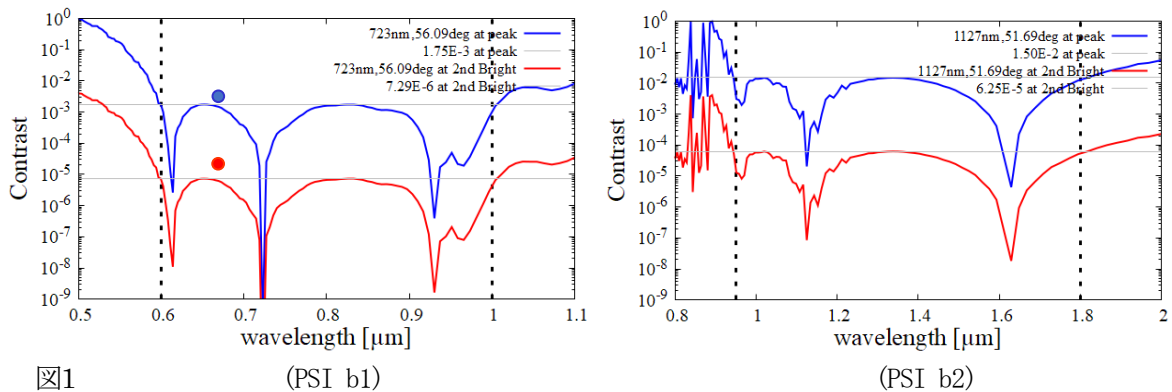


図1

(PSI b1)

(PSI b2)

との角度を考慮してパターンをデザインした。図2(a)は24分割の第3層の速軸方位を示してある。12、24、48分割のパターニングを業者に依頼したところ、24と48分割では中心付近の一部に逆傾向の不整模様が発生することが分かった（非公開）。一方、12分割では、そのような模様は発生しないが、境界線上で惑星が消える弱点がある。また、48は境界線が増えて不良な波面が増える懸念があるが、数値計算による予測は困難である。そのため、まずは12と24分割の実測が必要との結論に至った。

本年度の目標3)は、以上の検討に基づき、初期実験として適切な分割数と帯域を選択し、3層各層の製造を行い、単体における評価を行うことである。成果は以下のとおりである。本予算ではPSI b1帯域の24分割マスクの3層の各素子製造のみを行った。本年度は、本代表者と共同研究者の競争的資金で、稀に見る予算の追加的獲得ができたため、それら3層の接着、3層12分割マスクの製造と接着まで進んだ。波長板製造業者には、同じ帯域の別のマスクを同時成膜してコストダウンする提案をいただき、マスク基板サイズを縮小して12と24分割の同時成膜に対応した。図2(b)は3層24分割素子、(c)と(d)は接着済みの24分割と12分割位相マスクをホルダーに装着したものである。

図2 (a)速軸方位

(b)3層24分割素子

(c)3層24分割

(d)3層12分割

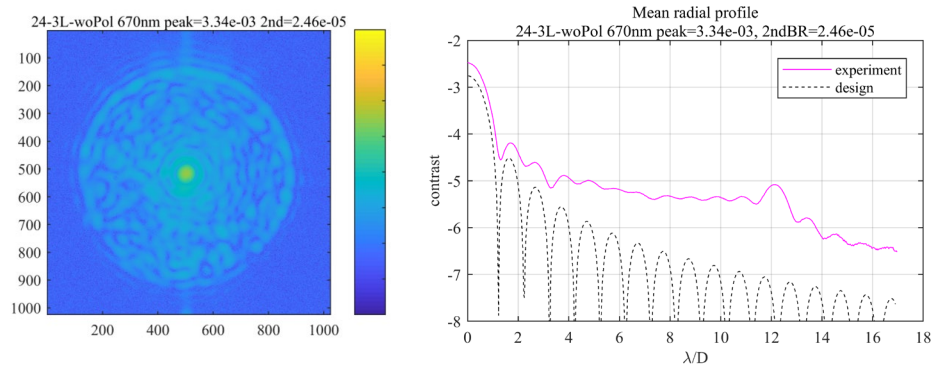
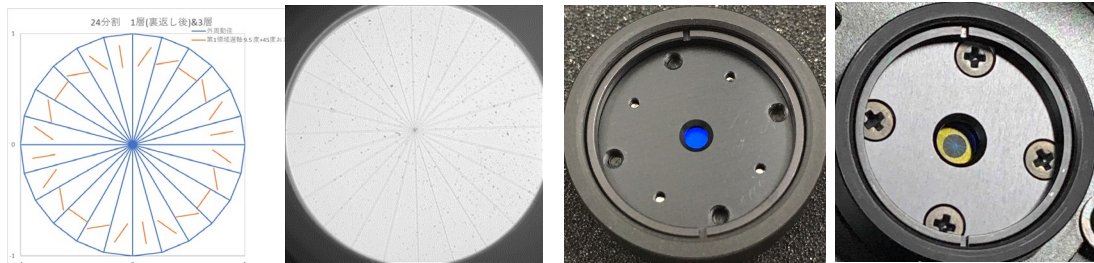


図3

3層接着版24分割マスクを用いたコナグラフ実験光学系 (@670nm)での焦点面画像とMean Radial Profileを図3に示した。偏光子で挟む必要がある単層より波面誤差が減りコントラストが良い。PSFpeak強度は(図3(右)の横軸0での値、図1の青●)、波面誤差の影響を受けにくく設計値(図3(右)

の点線) との比較が容易で、測定強度は設計値の2.4倍となった(表2)。パターン中心付近の不整模様が原因であるかもしれない。第2明環(図3(右)の横軸 $2.67\lambda/D$ での値、図1の赤●)では $2.5E-05$ で、スペックルの影響を受けて設計値の約4倍であるが、それでも十分なレベルである(生コントラストより1桁程度暗い)。第2明環以遠($>3\lambda/D$)でも、マスクの性能と現実験系の波面誤差によるスペックルの合算になっているが、必要レベルを満たしている(生コントラスト程度以下)。以上は単色(@670nm)での結果である。全帯域での評価は今後の課題である。

表2

3層24分割	PSFpeak強度設計値	PSFpeak強度測定値	測定/設計
@670nm	1.40E-03	3.34E-03	2.4