共同研究成果報告書

平成　28年　4月　20日

研究代表者：

氏　　名　　小林　尚人

所属・職　　東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター・准教授

研究題目：高効率Geイマージョングレーティングの性能評価

１．研究の実績

(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
Ge-IG回折格子用ARコート波長帯検討・設計			●	●	●	●						
ARコート試作						●	●	●	●	●		
Ge-IG回折格子の効率測定											●	●

(2)研究の成果の説明

TMTの集光力を生かした高感度の高分散観測装置の実現には、素子の大型化や広帯域化などに伴う様々な技術的課題を解決する必要がある。我々は、その解決に向けて革新的な新しい技術の実証を進め、それを用いたプロトタイプ装置の開発(赤外線高分散分光器 VINROUGE)も進めている。本研究では、近赤外-中間赤外線高分散分光観測の実現のためのキーデバイスとなる「Geイマージョングレーティング」の性能評価を目的として、下記の開発研究を行った。その結果、ほぼ理論限界値に等しい絶対回折効率（ピーク波長において~65%）を得て、天文観測への応用に十分な性能を持つことを実証し、本申請の目的を十分に達成した。

1. Geイマージョングレーティング(以下Ge-IG回折格子)用ARコート波長帯検討・設計

TMT用の中間赤外線観測装置として提案されているMICHI(Mid-Infrared Camera, High-disperser, and IFU)へのIG回折格子使用を念頭に、MICHIのメンバーともカバーすべき波長帯の議論を重ね、波長2-5um帯および4-13.5um帯の2つの広帯域ARコートを設計した。その結果、波長域全体で97-98%以上の透過率を示す高性能な設計解を得た(図1)。なお、波長2-13.5um帯を一度にカバーする超広帯域ARコートも検討したが、同レベルの高い透過率を示す設計解は得られなかった。

2. ARコート試作

ARコートのテストサンプル(Ge平面基板)を作成し、FTIRを用いてその透過率を測定した(図2)。2-5um帯のコートは、設計値からおよそ1-2%の範囲内(ARコート1面のみの透過率に換算)に収まる十分な性能が得られていることを確認した。4-13.5um帯のコートは、長波長側で若干透過率が低くなっているものの(3%以上)、R&Dとしては十分な結果であり、最終版への設計修正の見込みを得た。

3. Ge-IG回折格子の効率測定

波長2-5umのARコートを施したGe-IG回折格子(図3)の波長4.5um付近での回折効率を、常温において測定した。その結果、ほぼ理論限界値(厳密結合波解析法による回折効率計算)に等しい絶対回折効率(ピーク波長において~65%)が得られた(Sarugaku et al. in prep.)。

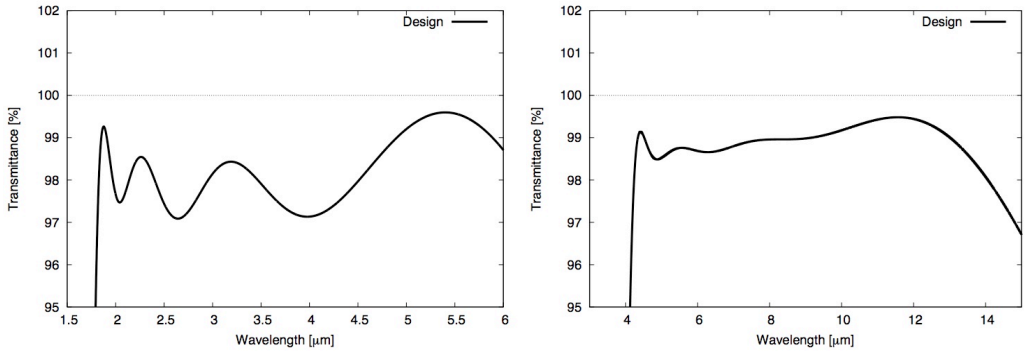

図1. ARコートの設計解(左：2-5μm、右：4-13.5μm)：2-5um帯用では97%以上、4-13.5um帯用では98%以上の透過率を示す高性能な解が得られた。

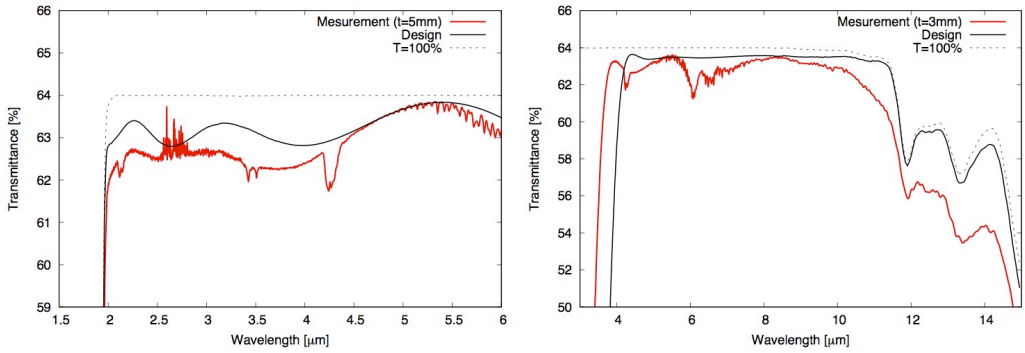

図2. 片面にARコートを施したGe平面基板の透過率(左：2-5μm、右：4-13.5μm)：裏面にはARコートをつけていないため、フレネル反射によるロスで最大で64%の透過率になっている。赤線はFTIRを用いた測定値。黒線は設計値(図1)から期待される透過率。黒点線はARコート面の透過率が100%の場合に期待される透過率。ここでは、Geの屈折率はn=4.0と仮定し、吸収係数は我々が別途測定した値(Kaji et al. 2014)を使用している。測定値だけに見られる微細なフィーチャーは、サンプル測定と校正用データ測定の間に、実験室中の空気による光の吸収量が変動するために生じる人工的なもの。

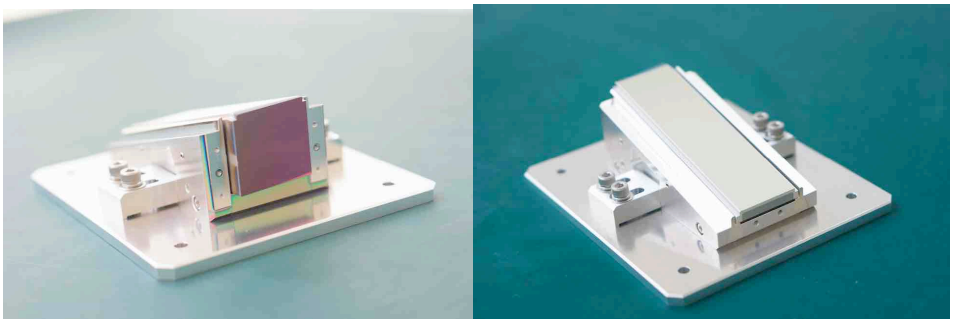

図3. 波長2-5um帯用高効率Geイマージョングレーティング：入射面(左)・回折面(右)には、それぞれ誘電体多層膜による広帯域ARコート・金属膜による反射コートが施されており、ピーク波長において絶対回折効率~65%を達成。ほぼ理論限界値の性能を持つ高効率のGeイマージョングレーティングを実現した(Sarugaku et al. in prep.)。

使用実績報告書

1. 総括表

区分	費目	予算額(円)	決算額(円)	委託費の充当額(円)	備考
支出	設備備品費	0	315,144	315,144	
	消耗品費	3,004,000	319,536	292,128	
	人件費	0	0	0	
	その他の経費	1,596,000	3,992,728	3,992,728	
	合計	4,600,000	4,627,408	4,600,000	
収入	委託費の額	4,600,000	4,600,000		
	自己調達額	0	27,408		
	その他	0	0		
	合計	4,600,000	4,627,408		

2. 決算費目別内訳

(A)支出

a 設備備品費

品名	仕様	数量	単価(円)	金額(円)	発注年月日	引取年月日	支払年月日	備考
Macbook	Pro Retina 13'CTO	1	315,144	315,144	2016/3/17	2016/3/17	2016/4/25	
計				315,144				

b 消耗品費

品名	仕様	数量	単価(円)	金額(円)	支払年月日	備考
充電器	JW-A7BU-IZO7他	3	1,483.3	4,450	2015/9/25	
書籍	「量子工学 朝倉物性物理シリーズ」	4	5,710.3	22,841	2015/12/25	
書籍	「固体物性－基礎からデバイスまで」	1	3,132	3,132	2016/1/25	
書籍	「Optical Properties of Solids」他	3	9,051.7	27,155	2016/1/25	
HDD	HD-LCU3-D	1	12,722	12,722	2016/2/25	
温度計	C100／3015S	10	3,888	38,880	2016/4/25	
キーボード	Apple iPadPro Smart Keyboard(US)	1	21,384	21,384	2016/4/25	
ディスプレイ	EIZO EV2455－BK－UN	1	49,800	49,800	2016/4/25	
ソフトウエア	KaleidaGraph 4.5 Mac	1	36,504	36,504	2016/4/25	
書籍	「Determination of Atmospheric Parameters」	1	10,875	10,875	2016/4/25	
書籍	「Handbook of Infrared Astrono	1	8,579	8,579	2016/4/25	
アダプター	Apple Thunderbolt to Gigabit Ethernet Adapter	1	3,780	3,780	2016/4/25	
可変濃度フィルター移動ステージ他	U1／4他	6	13,239	79,434	2016/4/25	自己負担27,408円
計				319,536		

c 人件費

種別	摘要	金額(円)	支払年月日	備考
該当なし				
計				

d その他の経費

種別	摘要	数量	単価(円)	金額(円)	発注年月日	引取年月日	支払年月日	備考
役務	Ge製イマージョン回折格子のARコーティングの検討	1	2,496,960	2,496,960	2015/9/7	2016/2/29	2016/3/25	
役務	IG回折効率の理論計算および最適化	1	855,360	855,360	2016/2/29	2016/3/14	2016/4/25	
旅費	木曽観測所(上松宿舎)利用料金(平成27年7月13日－7月14日)小林 尚人	1	1,050	1,050		2015/8/1	2015/8/1	
旅費	木曽観測所利用料金(平成27年7月28日－7月29日)小林	1	4,900	4,900		2015/8/1	2015/8/1	
旅費	木曽観測所利用料金(平成27年8月8日－8月10日)小林 尚	1	1,800	1,800		2015/8/10	2015/8/10	

旅費	木曽観測所（上松宿舎）利用料金（平成27年8月7日－8月10日）小林　尚人	1	3,150	3,150		2015/8/10	2015/8/10	
旅費	木曽観測所利用料金（平成27年8月14日－8月27日）小林	1	23,100	23,100		2015/8/27	2015/8/27	
旅費	小林　尚人　27／07／08－27／07／14　京都産業大学、上松町公民館	1	44,500	44,500		2015/8/31	2015/8/26	
旅費	小林　尚人　27／07／28－27／07／29　木曽観測所（木曽町）	1	15,660	15,660		2015/8/31	2015/8/26	
旅費	木曽観測所利用料金（平成27年8月29日－9月2日）小林　尚	1	8,500	8,500		2015/9/2	2015/9/2	
旅費	小林　尚人　27／08／05－27／08／10　京都産業大学（京都市）	1	37,400	37,400		2015/9/30	2015/9/25	
旅費	小林　尚人　27／08／14－27／08／27　木曽観測所（木曽町）	1	15,660	15,660		2015/9/30	2015/9/18	
旅費	小林　尚人　27／08／29－27／09／02　木曽観測所（木曽町）	1	15,260	15,260		2015/10/30	2015/10/2	
旅費	小林　尚人　27／09／28－27／10／03　木曽観測所（木曽町）	1	33,020	33,020		2015/11/30	2015/11/18	
旅費	猿楽　祐樹　27／12／21－27／12／22　国立天文台（三	1	28,460	28,460		2015/12/28	2015/1/29	
旅費	木曽観測所利用料金（平成28年1月25日－1月26日）小林	1	2,900	2,900		2016/1/29	2016/1/29	
旅費	木曽観測所利用料金（平成28年2月13日－2月15日）理学系研究科天文センター　小林　尚	1	2,700	2,700		2016/2/1	2016/2/1	
旅費	木曽観測所利用料金（平成28年2月23日－2月24日）小林	1	2,300	2,300		2016/2/15	2016/2/15	
旅費	小林　尚人　28／01／25－28／01／26　木曽観測所（木曽町）	1	14,860	14,860		2016/2/24	2016/3/14	
旅費	猿楽　祐樹　28／03／03－28／03／04　東京大学　天文学教育研究センター	1	26,160	26,160		2016/3/11	2016/2/29	
旅費	旅費　航空賃・宿泊料業者払い　小林　尚人　3／17－29　アメリカ・チリ分	1	149,312	149,312		2016/3/18	2016/4/6	不課税額144,002円
旅費	猿楽　祐樹　28／03／14－28／03／18　京都産業大学（京都市）	1	72,420	72,420		2016/3/29	2016/3/9	
旅費	小林　尚人　28／02／13－28／02／15　木曽観測所（木曽町）	1	15,060	15,060		2016/3/31	2016/4/4	
旅費	高橋　晴香　28／03／07－28／03／11　京都産業大学（京都市）	1	81,740	81,740		2016/3/31	2016/4/4	
旅費	小林　尚人　28／02／23－28／02／24　木曽観測所（木曽町）	1	14,860	14,860		2016/3/31	2016/4/4	
旅費	小林尚人 3/17-3/18（アメリカ）	1	13,340	13,340		2016/3/31	2016/4/12	不課税額9,700円
消費税	不課税・非課税に係る消費税相当額の計上（平成27年3月分）	1	12,296	12,296		2016/3/31	2016/3/31	
計				3,992,728				

(B)収入

種別	摘要	金額（円）	備考
研究費の額	国立天文台からの振込	4,600,000	
自己調達額		27,408	
その他		0	
計		4,627,408	

（注）委託業務の実施に際し、収入を得た場合や取引相手先からの納入遅延金が発生した場合には、
収入の欄におけるその他に計上すること。