

# SPICA搭載中間赤外線観測装置のキーテクノロジー

片坐宏一<sup>1</sup>, 和田武彦<sup>1</sup>, 左近樹<sup>2</sup>, 小林尚人<sup>2</sup>, 池田優二<sup>3</sup>, 猿楽祐樹<sup>1</sup>, 川田光伸<sup>1</sup>, 大藪進喜<sup>4</sup>

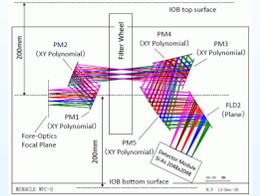
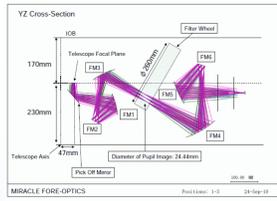
1:ISAS/JAXA, 2:東京大学, 3:フォトコーディング, 4:名古屋大学

## 広視野反射光学系の実現

### 反射光学系

- 高効率、低ゴースト
  - 広い波長帯域(5-38 $\mu\text{m}$ )
  - 総アルミ合金化により冷却による豊富な材料
  - 広い視野(5x5')
  - 高いサーベイ観測効率
  - 宇宙大規模構造や近傍銀河観測にfit
- 一般には、反射系で広い視野を実現するのは難しいが、Chang-Schwarzschild解や自由曲面を使い解決。

- Chang, S. et al., 2005, J. Opt. Soc. Am. 22, 2454.
- Araki, K., 2000, Opt. Rev. 7, 221/326.
- Kataza, H., 2010, J. Jpn. Soc. Infrared Science & Technology 19, 57.
- Fujishiro, N., 2010.

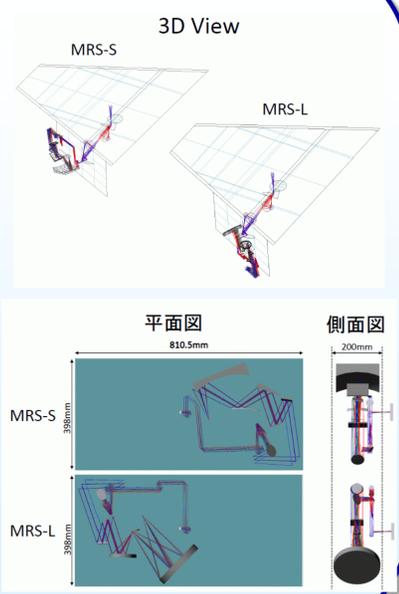


面番号	面形状	面径	材料	厚さ	位置
F1	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F2	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F3	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F4	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F5	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F6	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F7	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F8	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F9	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F10	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F11	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F12	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F13	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F14	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F15	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F16	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F17	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F18	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F19	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F20	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F21	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F22	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F23	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F24	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F25	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F26	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F27	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F28	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F29	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F30	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F31	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F32	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F33	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F34	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F35	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F36	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F37	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F38	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F39	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F40	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F41	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F42	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F43	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F44	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F45	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F46	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F47	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F48	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F49	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F50	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F51	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F52	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F53	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F54	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F55	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F56	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F57	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F58	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F59	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F60	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F61	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F62	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F63	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F64	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F65	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F66	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F67	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F68	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F69	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F70	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F71	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F72	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F73	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F74	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F75	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F76	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F77	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F78	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F79	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F80	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F81	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F82	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F83	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F84	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F85	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F86	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F87	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F88	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F89	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F90	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F91	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F92	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F93	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F94	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F95	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F96	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F97	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F98	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F99	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000
F100	XY Polynomial	114	Al	0.005	0.000

## イメージスライサー、ダイクロイックミラーつきエシェル分光器の実現

### 広い波長帯域(10-38 $\mu\text{m}$ )

- ダイクロイックミラー採用による2オクターブ化
- 大フォーマット検出器採用により、全帯域の同時観測が可能
- 広帯域同時観測のメリット
  - 高い観測効率
  - 時間変化天体への対応
- 面分光機能
  - イメージスライサー採用により5x5画素で同時分光可能
  - 形態情報も合わせた3D情報
  - 背景の同時観測(正確な差引)
  - 望遠鏡指向精度の緩和

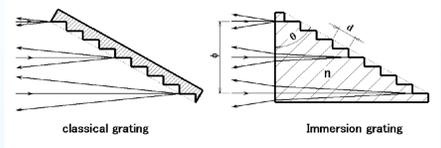


## コンパクトな波長分散素子の実現

### イメージンググレーティング

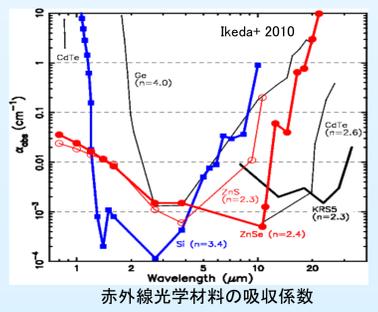
#### イメージンググレーティングとは?

- 回折面を媒質(屈折率n)で満たした回折格子
- 一般的な反射回折格子(n=1)に比べ、波長分解能をn倍にできる
- つまり、分解能を保ったまま、分光器サイズを1/nに縮小可能
- これまでスペースでは困難であった高分散分光を実現



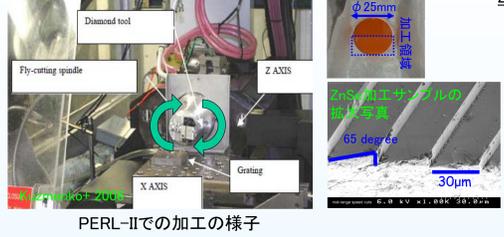
#### イメージンググレーティングの材料

- 光波はプリズムブロック中を往復するため、高効率のグレーティングを実現するためには、吸収係数の低い材料が望ましい
- 加工の容易さ、材料の入手性、衛星への搭載も重要な要素
- SPICA中間赤外線高分散分光器の短波長側(4-8 $\mu\text{m}$ )、長波長側(12-18 $\mu\text{m}$ )の材料として、それぞれZnSe, CdTeが現在の第一候補



### 溝加工

- ZnSeの溝加工は、ローレンスリバモア国立研究所(米国)の超精密旋盤(PERL-II)を用いたフライカット切削によって、実現の目処がたっている(詳細は下記)
- CdTeの溝加工は、国内で加工試験を開始



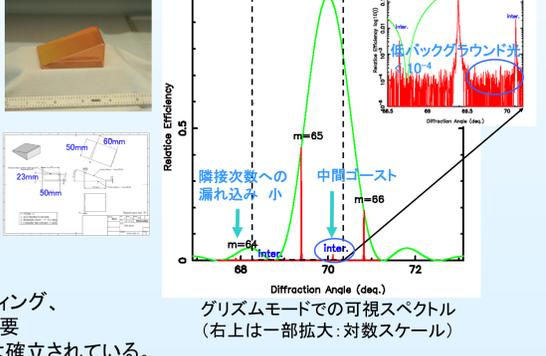
ZnSe製基板への溝加工試験結果

表面粗さ ... 7.2 nm (rms)	[目標値: < 16.5 nm (rms)]
周期ピッチ誤差 ... < 15nm	[目標値: < 12 nm]
ランダムピッチ誤差 ... 8.0 nm (rms)	[目標値: < 13.5 nm (rms)]
角R ... < 0.2 $\mu\text{m}$	[目標値: < 1 $\mu\text{m}$ ]
表面精度 ... 0.2 $\lambda$ @633nm	[目標値: < 0.4 $\lambda$ @633nm]

→ すべての項目において目標値を達成!!  
Kuzumenko+ 2008, Ikeda+ 2008

### ZnSe大型プリズム型回折格子の製作/評価

- 本番品に模した大型プリズムグレーティングを製作
  - グリズムモードでの評価結果 w/HeNeレーザ
  - 相対回折効率 > 90% !! @5 $\mu\text{m}$
- \*相対回折効率: 回折面理想形状をなしているときを100%とした場合の効率。形状のみによって決まる



### コーティング

- 入射面におけるフレネル反射ロスを抑えるARコーティング、回折面での反射面コートが、効率を高めるために重要
- ARコーティングは、波長帯域も狭く、基礎的な技術は確立されている。短波長側については、透過率97%以上を達成する薄膜の試作に成功。
- 反射面コートは、赤外線での反射率を考慮してAuを付着する予定。しかし、一般にAuは誘電体材料への密着度が弱いことが知られている。そこで、Cr, Ptを1-2nmの厚さで接着層として施し、より強固な膜を実現することを検討。Auより反射率が落ちるが、Alのコートを実施し、ほぼ理論値通りの反射率が得られている。

## 多画素中間赤外線検出器の実現

### 5-26 $\mu\text{m}$

- Si:As IBC 1Kx1K 検出器が入手可能(Ressler et al. 2008)
- AKARI/IRCで実績(256x256)
- 2Kx2K検出器の開発を検討中

### 20-38 $\mu\text{m}$

- Si:Sb BIB 1Kx1K 検出器が入手可能(Hogue et al. 2010)
- Spitzer/IRSで実績(128x128)
- SPICA向けの最適化開発に着手

### 38-50 $\mu\text{m}$

- 現時点で入手可能な多画素センサ無し
- Si high dope BIB 検出器(Hogue et al. 2008)
- Ge BIB検出器の開発(長勢他P7-021、桐山他P7-024)
- 極低温読み出し回路の開発(永田他P7-023)

## Space wireベースの制御電気系

### Space Wire I/Fを採用

- 汎用規格/汎用部品採用によるコスト・リスクの低減
- ASTRO-Hの資産を活用
  - コスト削減
  - 信頼性向上
- 汎用検出器ドライバーの開発
  - 複数種類の検出器に一種類のハードウェアで対応
    - Si:As 2Kx2KとSi:Sb1Kx1Kでは、タイミング、電圧が異なる
    - 違いはソフトウェア・ジャンプスイッチで吸収
- 共通化によりコスト・リスクを低減

