

次期赤外線天文衛星 S P I C A

Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics

開発の現状

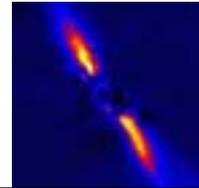
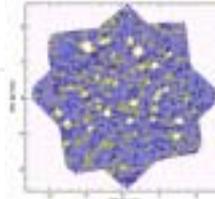
次世代赤外線天文衛星(S P I C A)
ワーキンググループ
(宇宙科学研究所・中川貴雄、片坐宏一)
Aug 21, 2003

S P I C A概要

Scientific Objectives

宇宙進化の歴史を探る

- 銀河の誕生と進化
 - 第一世代の星生成、銀河、銀河団進化
- 星の誕生と進化
 - 星の誕生、原始星
 - 恒星進化
- 惑星系の誕生と進化
 - 木星型 exoplanets の直接検出



SIRTF & ASTRO-F

**Wanted !
Larger
Telescope**



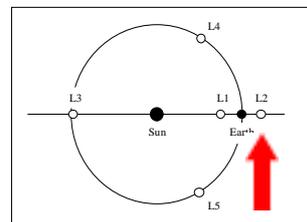
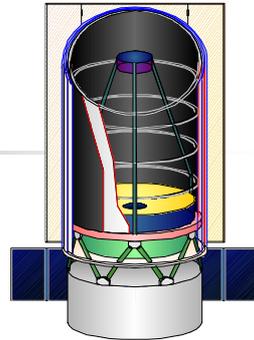
SIRTF
Aug 25, 2003 Launch
85 cooled Telescope



ASTRO-F
2005 Launch
70 cooled Telescope

Outline of SPICA

- Telescope: 3.5m, 4.5 K
 - JWST(20-40K), HSO(80K)
- Core : 5-200 μm
 - JWST (Opt-NIR), HSO (Sub-mm) との相補性
- Orbit: Sun-Earth L2 Halo
- Warm Launch, Cooling on Orbit
- Total Weight: 2.6 t
- Launch: ~ 2010 by HIIA



Focal Plane Instruments

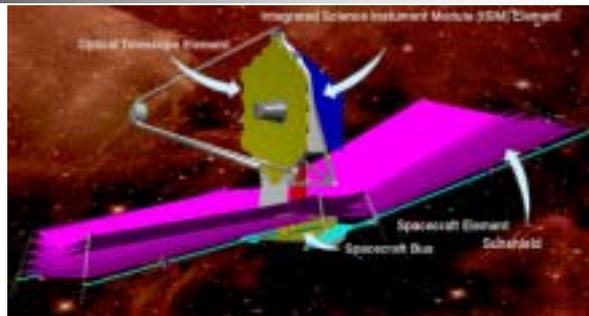
- First Priority
 - Mid-Infrared Camera & Spectrometer
 - with Coronagraphic Capability
 - Far-Infrared Camera & Spectrometer
 - High Resolution
 - 3.5" @ 50 μm (c.f. 30" for ASTRO-F)
- Second Priority
 - NIR Camera & Spectrometer
 - Sub-mm Camera & Spectrometer

Herschel in a nutshell

- telescope diameter 3.5 m
 - telescope WFE $10\ \mu\text{m}$ ($6\ \mu\text{m}$)
 - telescope temp 70-90 K
 - abs/rel pointing (68%) $< 3.7''$ ($1.5''/0.3''$)
 - science instruments 3
 - science data rate 100 kbps
 - operational lifetime >3 years
 - height 9 m
 - launch mass 3300 kg
 - power 1 kW
 - orbit Lissajous around L2
 - launch vehicle Ariane 5
- (15 February 2007)



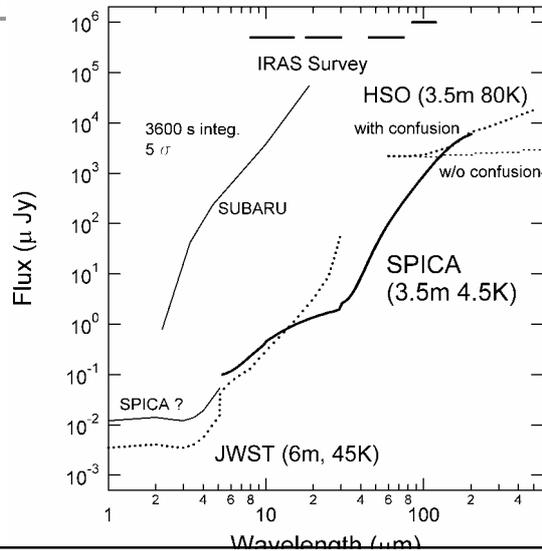
JWST (a.k.a. NGST)



- 6 m class telescope
- Operat. Temp $< 50\ \text{K}$
- Wavelength $0.6 - 28\ \mu\text{m}$
- Launch Aug 2011

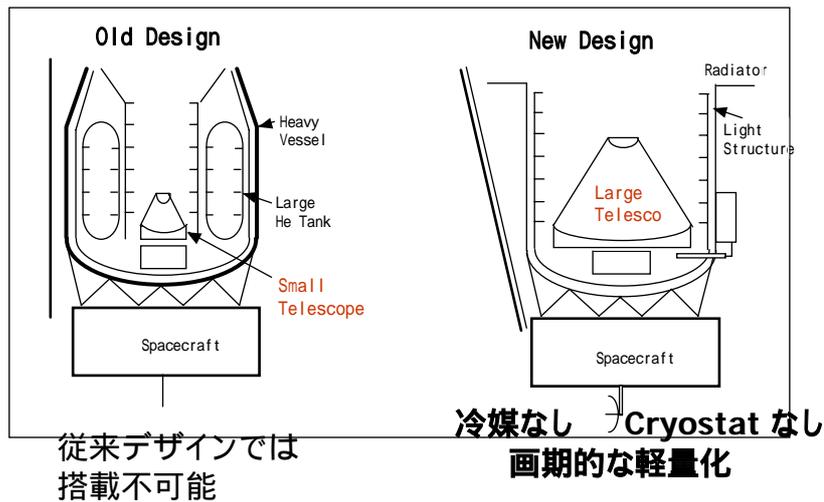
SPICA Sensitivity

- SPICA is a **COOL Mission**
- Optimized for Mid- & Far-Infrared
 - Most Sensitive among proposed missions @ 15-130 μm
- Complimentary to HSO & JWST

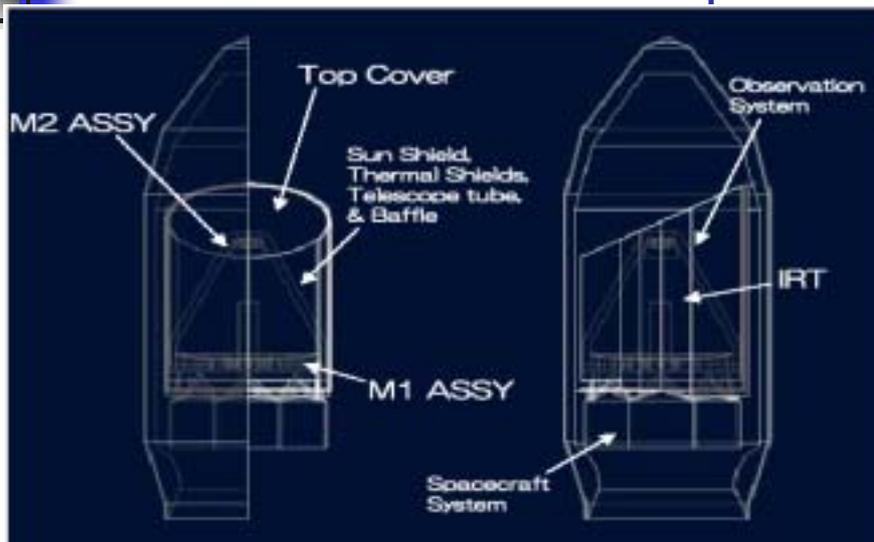


Design Philosophy

大口徑へ：設計思想の改革

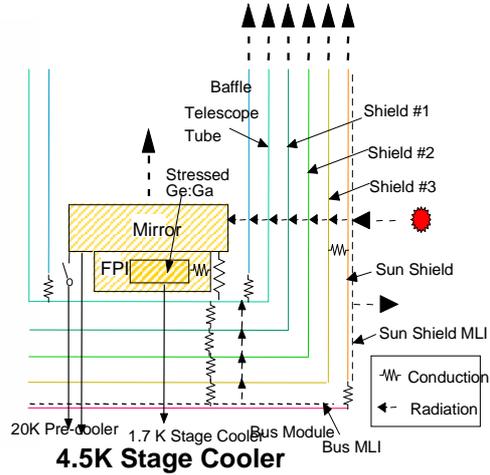
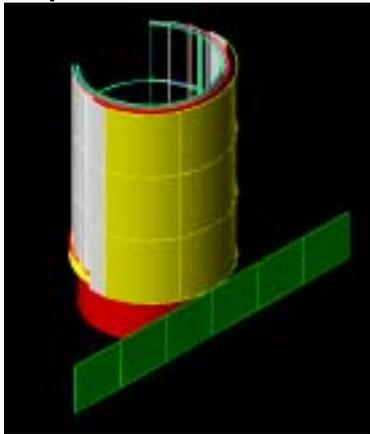


Monolithic Mirror Simple



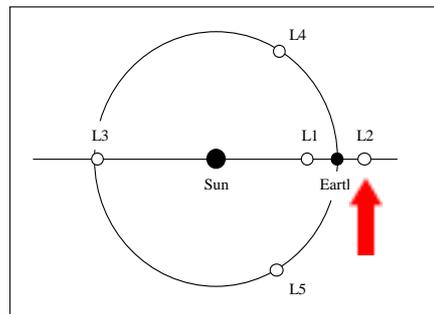
冷却方法:

効率的な放射冷却 + 機械式冷凍機



Warm Launch, Cooling on Orbit

- Effective Radiative Cooling
 - S-E L2 Halo Orbit
 - Easy Thermal Shielding
- Mechanical Cryocoolers
 - Essential for 4.5K



ASTRO-F Legacy

- 科学的成果
 - ASTRO-F: 究極のサーベイ観測
 - SPICA: 詳細観測
- 技術的成果
 - 機械式冷凍機の採用
 - also SMILES
 - 軽量低温鏡
 - 赤外線高感度検出器



Stirling 冷凍機 on ASTRO-F

SPICA 技術検討、開発

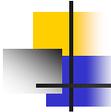
- 予算
 - 戦略的開発研究
 - 科学技術振興調整費「次世代スペース・オプティクス
の広域展開」
 - 科研費
- 検討、開発項目
 - ミッション系基礎技術開発
 - 機械式冷凍機
 - 軽量大型鏡
 - 焦点面観測装置(検出器)
 - システム検討
 - 熱・構造の最適化
 - ハイブリッド姿勢制御システム

軽量望遠鏡システムの開発

ASTRO-F Telescope

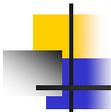
- 67 cm R.C.
- Oper. Temp. 5.8 K
- Diff. Limit @5 μ m
- SiC
 - Porous Core
 - CVD Coat
 - Area Density 28 kg/m²
 - But D<1m





設計思想

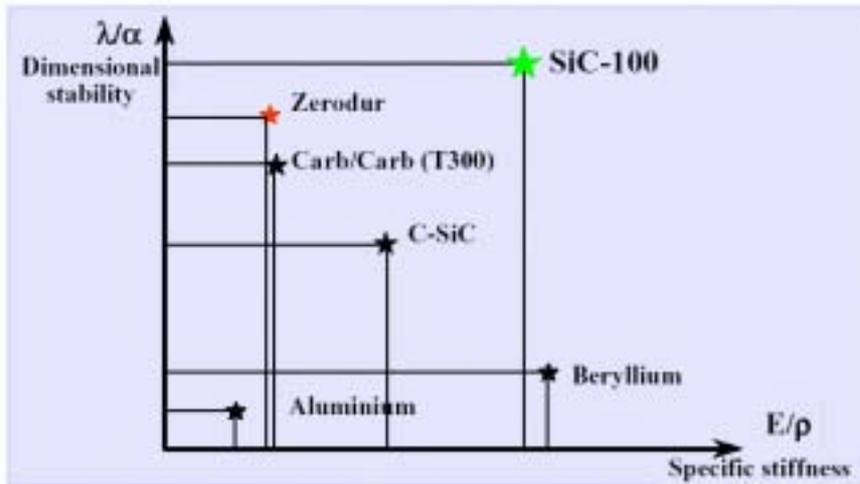
- 鏡の剛性とActuators
 - 高剛性鏡 with few Actuators
 - Simple, 高信頼性
 - 重量大、試験が重要
 - 低剛性鏡 with many Actuators
 - 重量低減、高精度?、将来性
 - 複雑、低信頼性
- 材料
 - ガラス系
 - 高い安定性、低剛性、脆性
 - SiC
 - 高剛性、高熱伝導、脆性
 - C/SiC
 - 高剛性、高熱伝導、低脆性



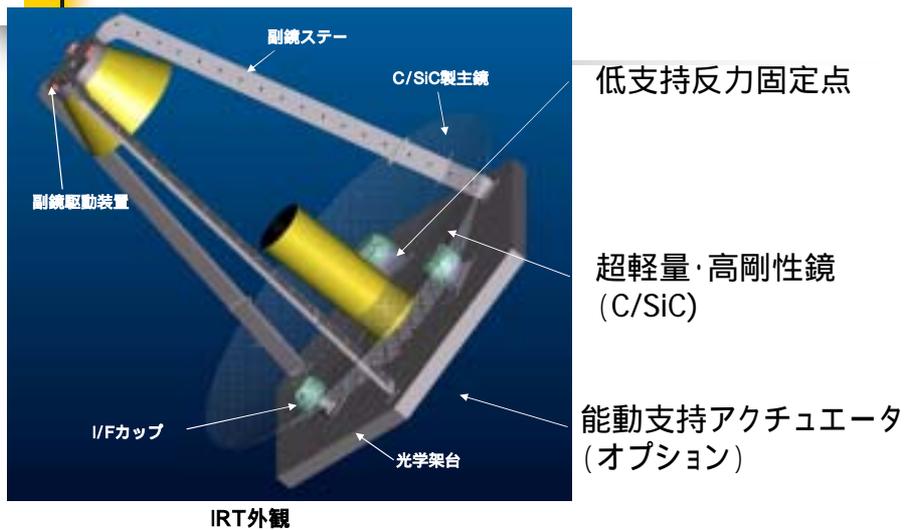
望遠鏡開発経緯

- 今までの軽量スペース望遠鏡
 - IRTS (Al, 15cm鏡)
 - ASTRO-F (Hybrid SiC, 70 cm 鏡)
- RFP/RFI 発行 (2002年8月)
 - NTSpace + Goodrich
 - 住友重機 + Nikon + Astrium
 - 三菱電機
- 後者2つを選択し、BBM開発スタート

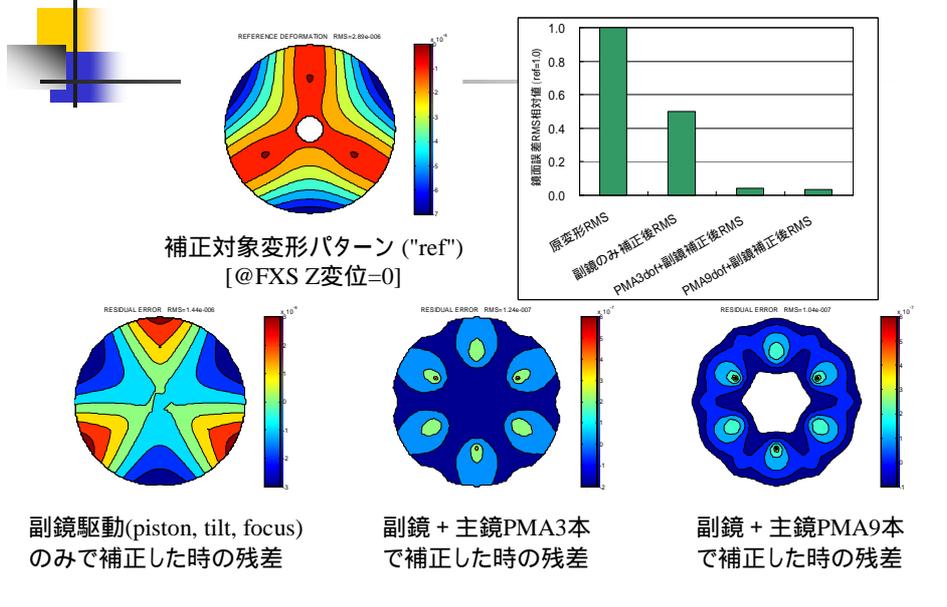
材料の特性



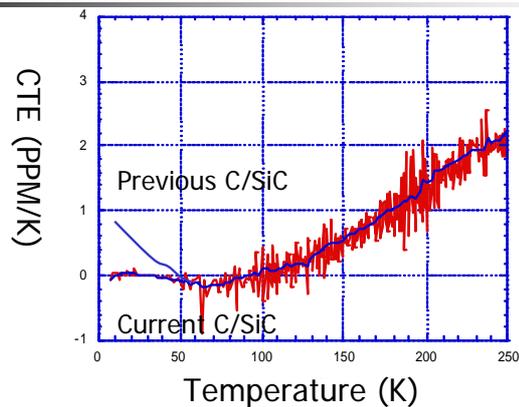
高剛性鏡+ a few Actuators (Option) (候補のひとつ)



Actuators の効果



New Material C/SiC



- Advantage: Large Monolithic Mirror
- Disadvantage: Large CTE at low T? Solved

C/SiC 鏡材開発:

表面構造の理解、改良に大幅な進展

- ・顕微鏡型干渉計による表面計測
- 非常に高い分解能(特にz方向)
- ・3次元画像による表面構造の理解

- ・C/SiC表面のおもな構造
 - (1) SiCマトリックス
 - (2) 残存Si
 - (3) C繊維

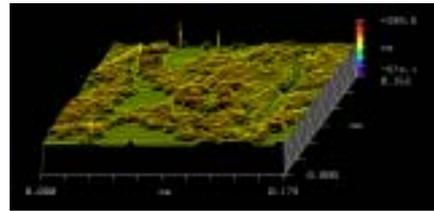
- ・表面粗さを決めているもの

- (1)-(2) の高低差が当初は $\sim 100\text{nm}$ 、表面粗さの主要因と判明
- ・C繊維の局在の問題も検出

材料・生成条件のパラメーター調整

- * 面粗さ $7.4\text{nm}(\text{@RMS})$
- * C繊維がほぼ一様に分散を達成。

- ・次の重要課題は極低温での特性評価



光学写真(右上)および干渉測定による鳥瞰図(下)。視野は 0.179mm 、空間分解能 $\sim 0.7\mu\text{m}$ 、この写真のサンプルでは 1-2 の高低差は $\sim 100\text{nm}$ で、z方向の起伏が強調されている点に注意。左上:測定したサンプルの例。

冷凍機開発

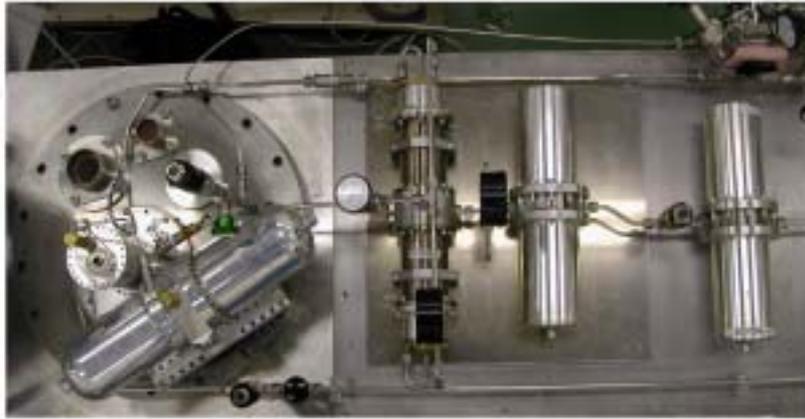
SPICAが必要とする冷凍機

- 200mW@20K (JT予冷)
 - 2-stage Stirling (ASTRO-Fの成果)
- 30mW@4.5K (望遠鏡冷却)
 - 4He JT (ASTRO-F + SMILESの成果)
- 15mW@2.5K (Ge:Ga冷却)
 - 3He or 4He JT (新規開発)
- 10mW@1.7K (遠赤外線検出器冷却)
 - 3He JT (新規開発) **重点的に開発**

1K級冷凍機開発経過

- 平成12年度
 - 超低压リニアポンプの作成、実験set up整備
- 平成13年度
 - 3He JT 動作の原理的実証 (従来の記録は2.5K)
 - 問題: 低効率 (4mW@1.7K)
- 平成14年度(前半)
 - 熱モデル見直しによる最適化 (10mW@1.7K)
 - 問題: バラック実験
- 平成14年度(後半)
 - Stirlingを予冷に用い高効率化(12mW@1.7K)
 - 問題: 構成の複雑さ、能力の余裕のなさ

3He JT 圧縮機構成



予冷機を Stirling に変更



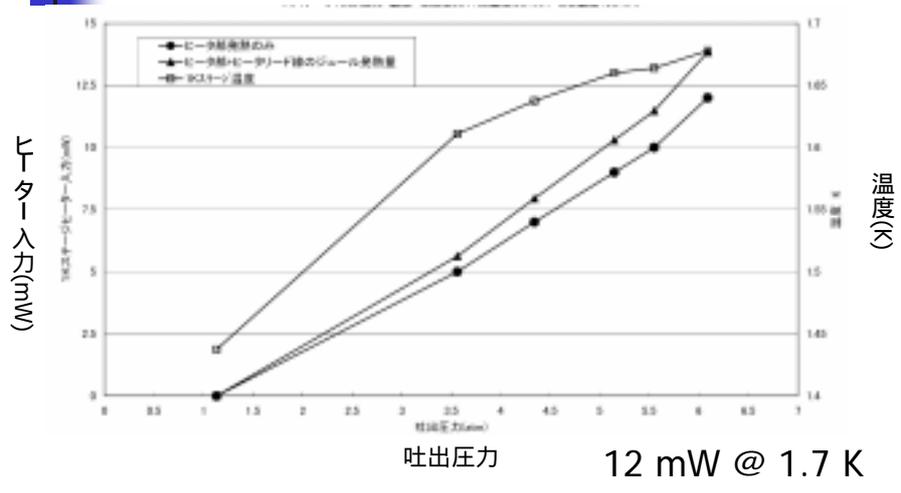
今までの構成(GM予冷)



新構成 (Stirling予冷)

構成の単純化
高能率化

3He JT 世界最高性能を達成



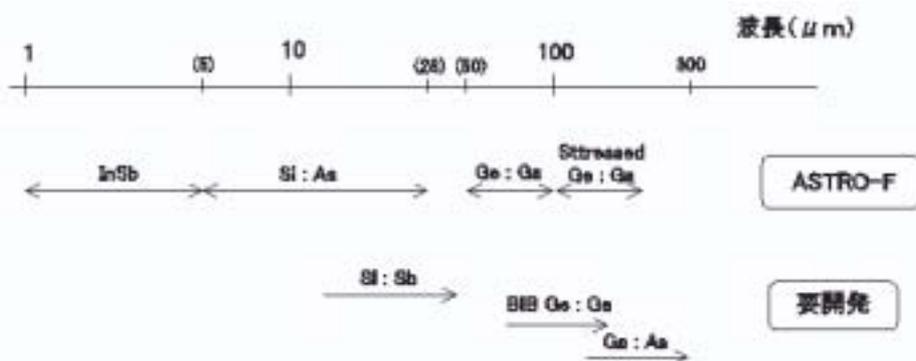
冷凍機の開発成果 他の科学衛星ミッションへ

Table 1 Development Status of Mechanical Cooler for Space Use at SHI						
No.	Mission/Project	Cooling Purpose	Cooler Type (*)	Typical Cooling Power	hp	Present
1	SELENE/GRS	Ge Detector	1ST	1.5W/80K	40W	PFM
2	ASTRO-E2/XRS	Outer Vapor cooled shield	1ST	2.5W/100K	35W	PFM
3	Planet-C/IR2	CCD	1ST	1W/65K	50W	BBM, Planning
4	NeXT/XRT	CCD	1ST	6W/173K	20W * 2sets	Planning
5	ASTRO-F	Inner Vapor cooled shield	2ST	0.2W/20K	50W * 2sets	FM
6	V SOP-2	Low noise Amp.	2ST	TBD	TBD	Planning
7	JEM/SMILES	Submillimeter detector (SIS mixer)	2ST + ⁴ HeJT	20mW/4.5K	150W	PFM
		Pre-Amp		1W/100K, 0.2W/20K		
8	SPICA	Pre-coolin	2ST	0.2W/20K	100W	Planning
		Telescope, Si:AS detector	2ST + ⁴ HeJT	30mW/4.5K	180W	Planning
		Unstressed Ge:Ga detector	TBD	10mW/2.5K	200W(TBD)	Planning
		Stressed Ge:Ga detector	2ST + ³ HeJT	5mW/1.7K	180W	BBM
9	NeXT/XRS	Inner and Outer Vapor cooled shields	2ST	2W/100K, 0.3W/20K * 2sets	80W * 2sets	Planning
		LHe tank	2ST + ³ HeJT	5mW/1.7K	180W	Planning
		X-Ray detector	ADR	0.05K	TBD	Planning
Note(*)		1ST : Single stage stirling cycle cooler 2ST : Two-stage stirling cycle cooler JT : Joule-Thomson cycle cooler ADR : Adiabatic demagnetization refrigerator				

赤外線検出器の開発

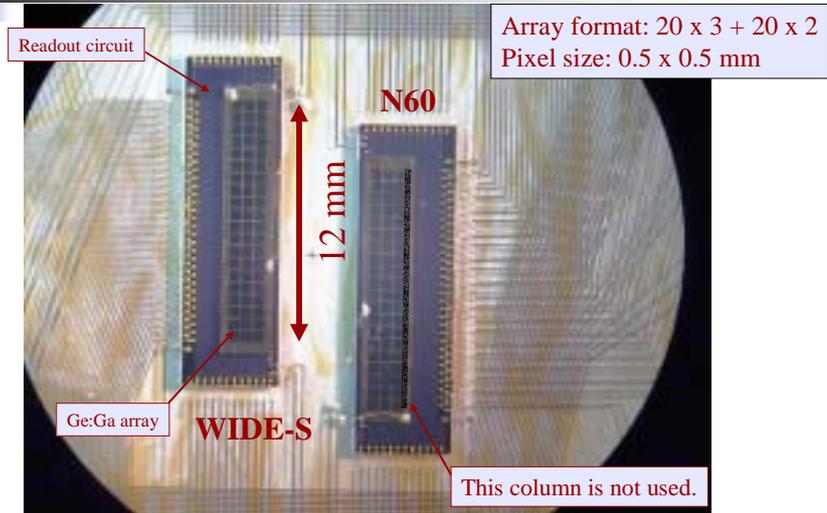
赤外線検出器開発の課題

- 連続した波長カバー (MIR, FIR)
- 大規模アレイ化(FIR)



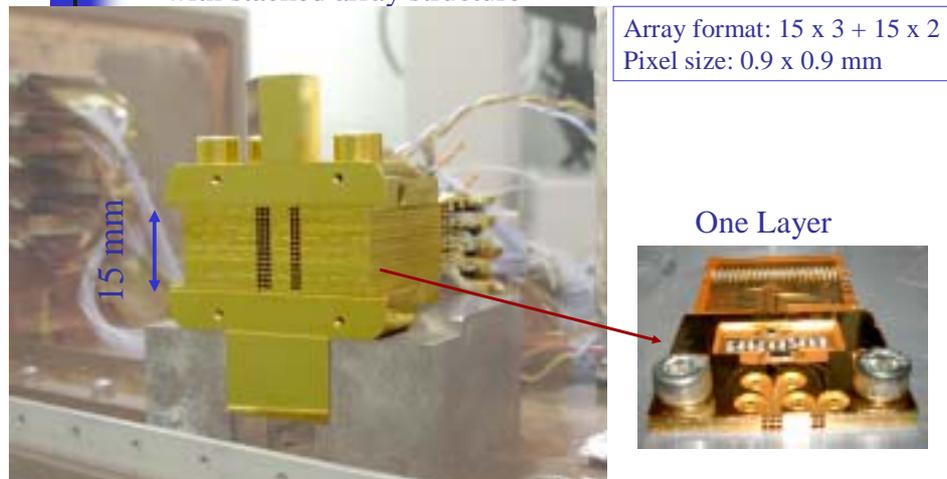
ASTRO-F FIS/SW detector

(50–110 μm): 大規模化への路
Ge:Ga Monolithic array.



ASTRO-F/FIS/LW detector

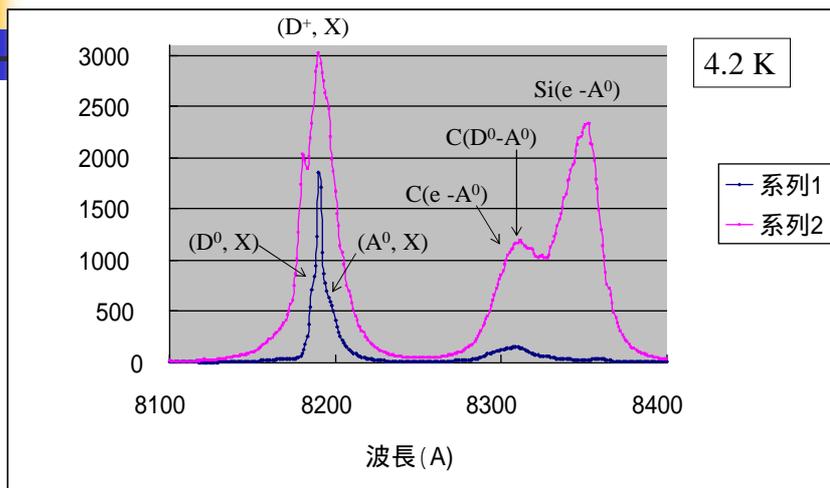
(110–200 μm): 大規模化困難
Stressed Ge:Ga photoconductors
with stacked array structure



液層エピタキシャル結晶成長装置 (GaAs)

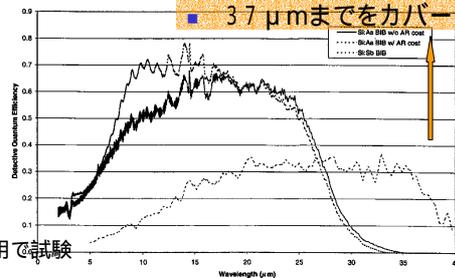


Photoluminescence測定



光検出器として使用可能な不純物レベルに近づいた
次の課題: 光検出器として試験
将来: 読み出し回路と組み合わせてアレイ化

Si:Sb検出器(DRS社)



•SIRTFでの開発

- 1986に2社と開発開始
- 1987から中間背景レベル(10(8)/s)用で試験
- 低背景レベル用は1993から試験
- SIRTFの打ち上げは2003夏

•SPICAでの開発

- 超低背景レベルのための開発
- 高感度と低暗電流の両立
- 非線形性の克服



BIB型 Ge:Ga 検出器

■ 利点

- 高い吸収効率 大規模アレイ化
- 対放射線の影響軽減
- 感度特性の長波長化

■ 方針

- U.C. Berkeley の E. Haller のグループと共同
- 米が結晶を提供、日が測定
- 将来的には日本で読み出し回路と組み合わせる
- ASTRO-Fの成果の活用



システム検討



衛星システム検討

- 目的
 - 衛星システム全体としての成立性の検討
 - 開発を要する critical components の洗出し
- Two Critical Issues
 - 高精度ハイブリッド姿勢制御系
 - 衛星全体としての構造・熱設計の最適化

SPICA計画・ロードマップ

- 基礎技術開発 (2004年度まで)
 - システム全体の成立性の検討
 - Critical Components の開発終了
- プロポーザル提出 (2004年度)
 - 基礎開発の成果、ASTRO-Fの成果
- PM (2005-7年度)
- FM (2008-2010年度)
- 打ち上げ (2010年度)

