第20回 マイクロマシン／MEMS展
第3回 BEANSプロジェクトセミナー

マイクロ・ナノ加工技術の宇宙用赤外センサへの応用

2009年7月30日

3D BEANSセンター滋賀
立命館大学理工学部
木股　雅章

内　容

1. 赤外線イメージングとマルチバンド化

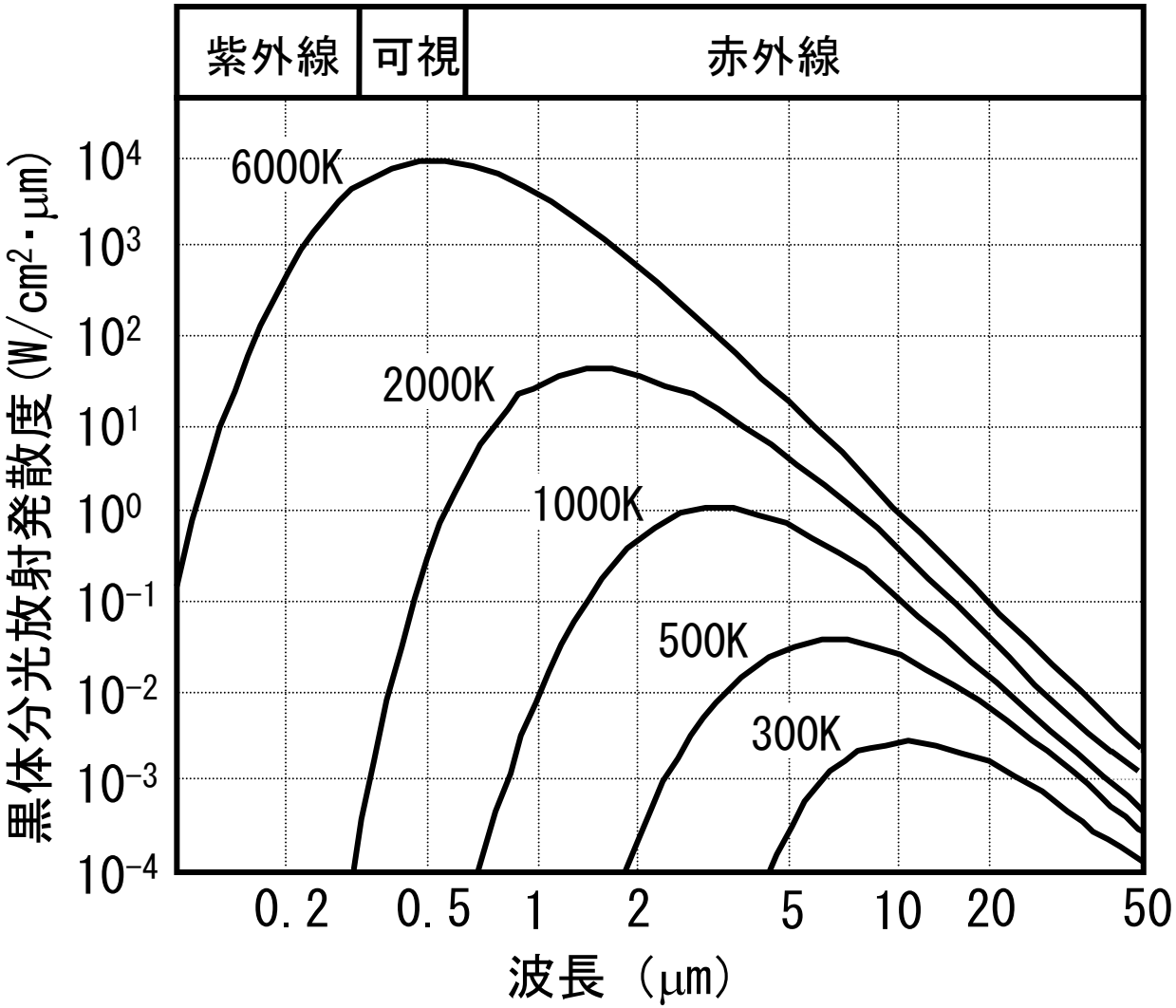
2. 赤外線センサの宇宙適用

3. 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の目指すもの

4. 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の研究開発状況

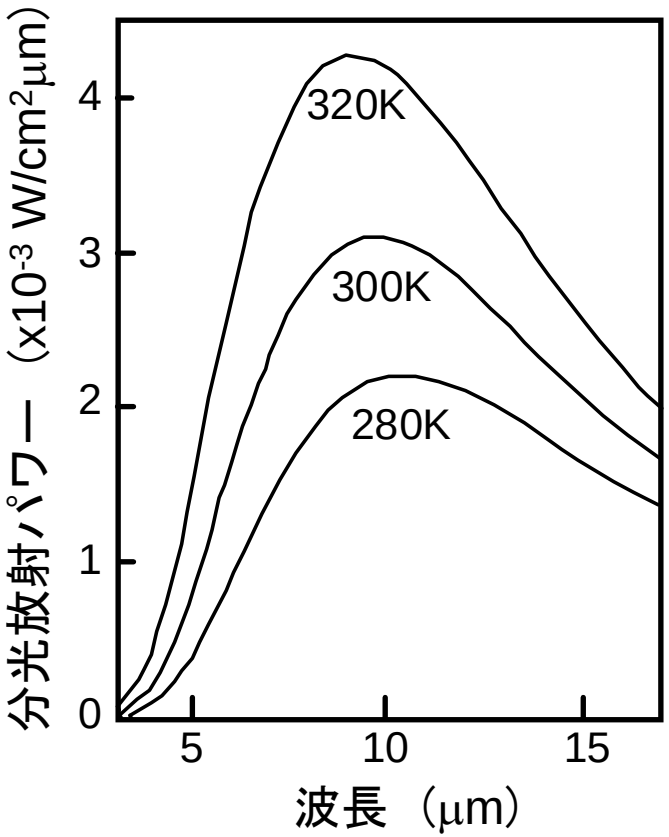
5. まとめ

Planckの放射則

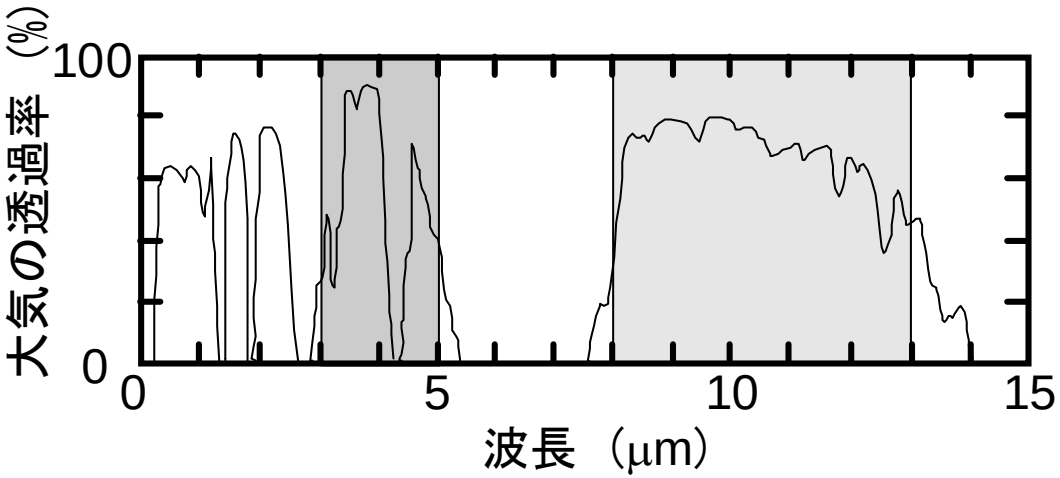

紫外線
可視
赤外線
6000K
2000K
1000K
500K
300K
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
黒体分光放射発散度 (W/cm²・μm)
0.2
0.5
1
2
5
10
20
50
波長 (μm)

赤外線イメージングに使う波長帯

室温物体の分光放射特性



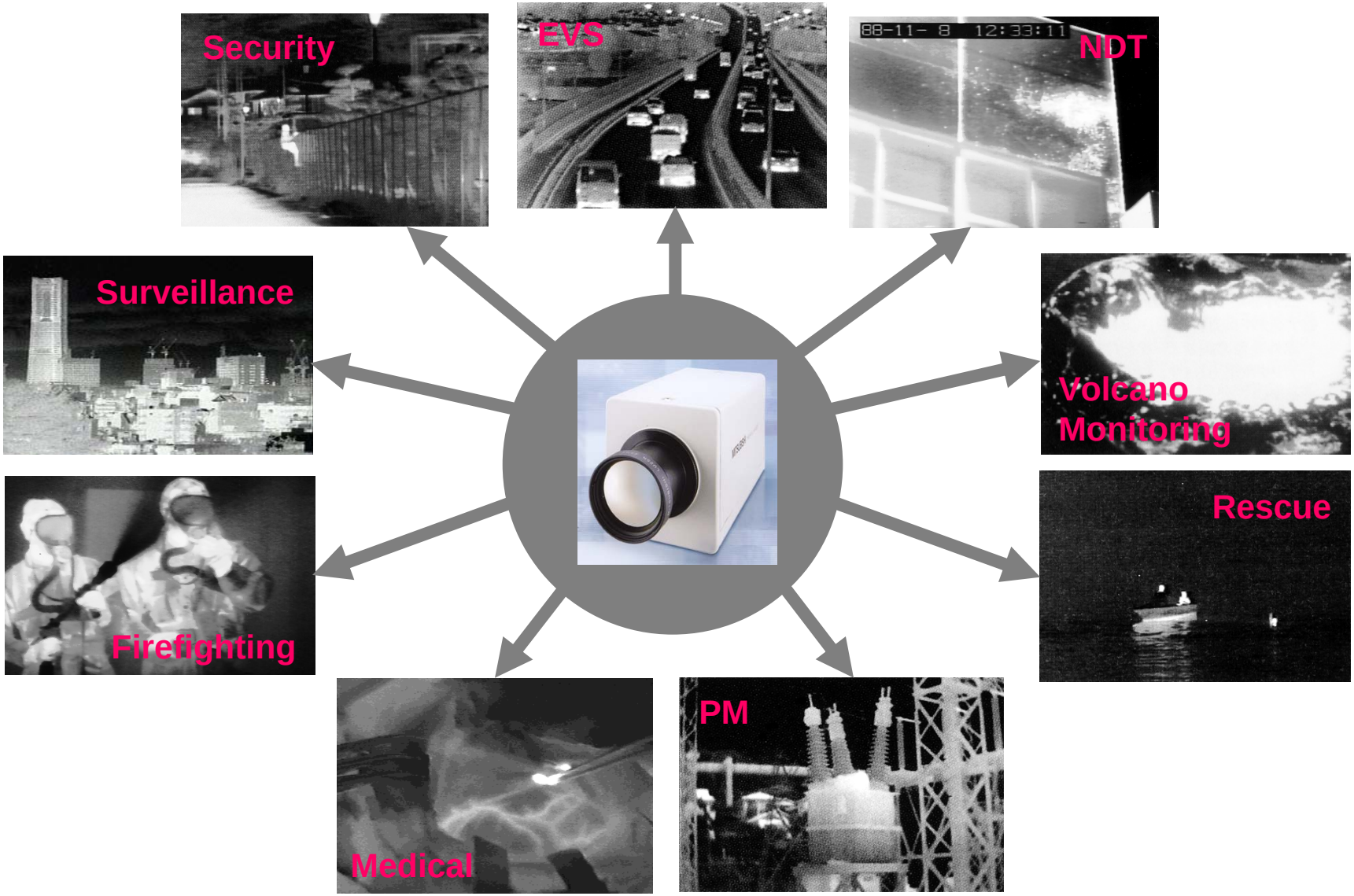
大気の分光透過特性



赤外線イメージングに使える波長
- 十分な放射がある
- 大気の透過率が高い

→ **3～5μm帯＆8～12μm帯**

赤外線イメージングの応用



Make or Buy

開発しなくても買えばいい？？？

大量に販売され競争が激しいもの
＞＞＞競争原理
＞＞＞適正な価格
＞＞＞最新の技術

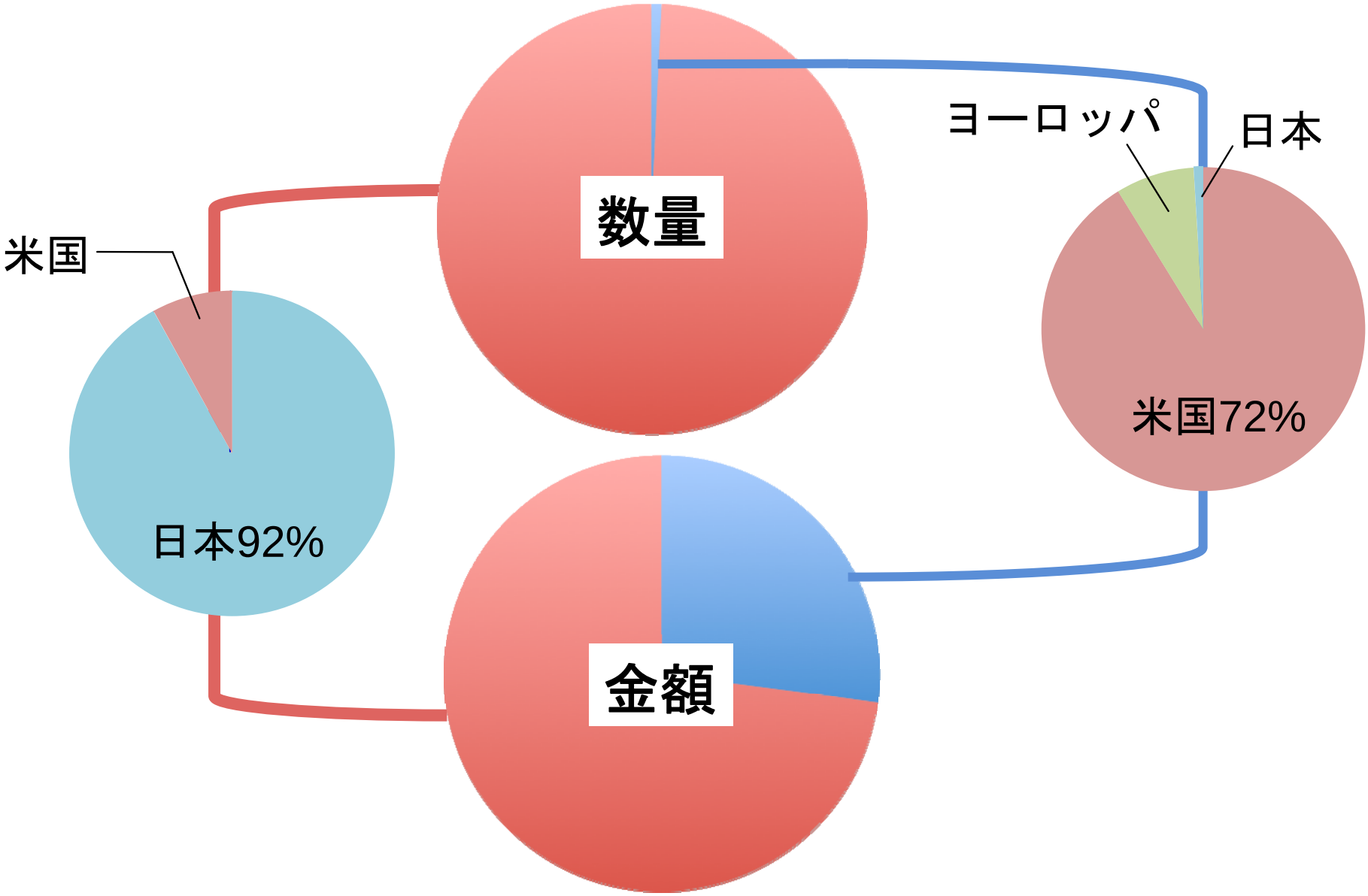
→ **Buy**

赤外線FPA
＞＞ニッチ市場
＞＞日本市場の魅力少
＞＞ノウハウの塊
＞＞日本の競合メーカ少
＞＞輸出規制（米国）

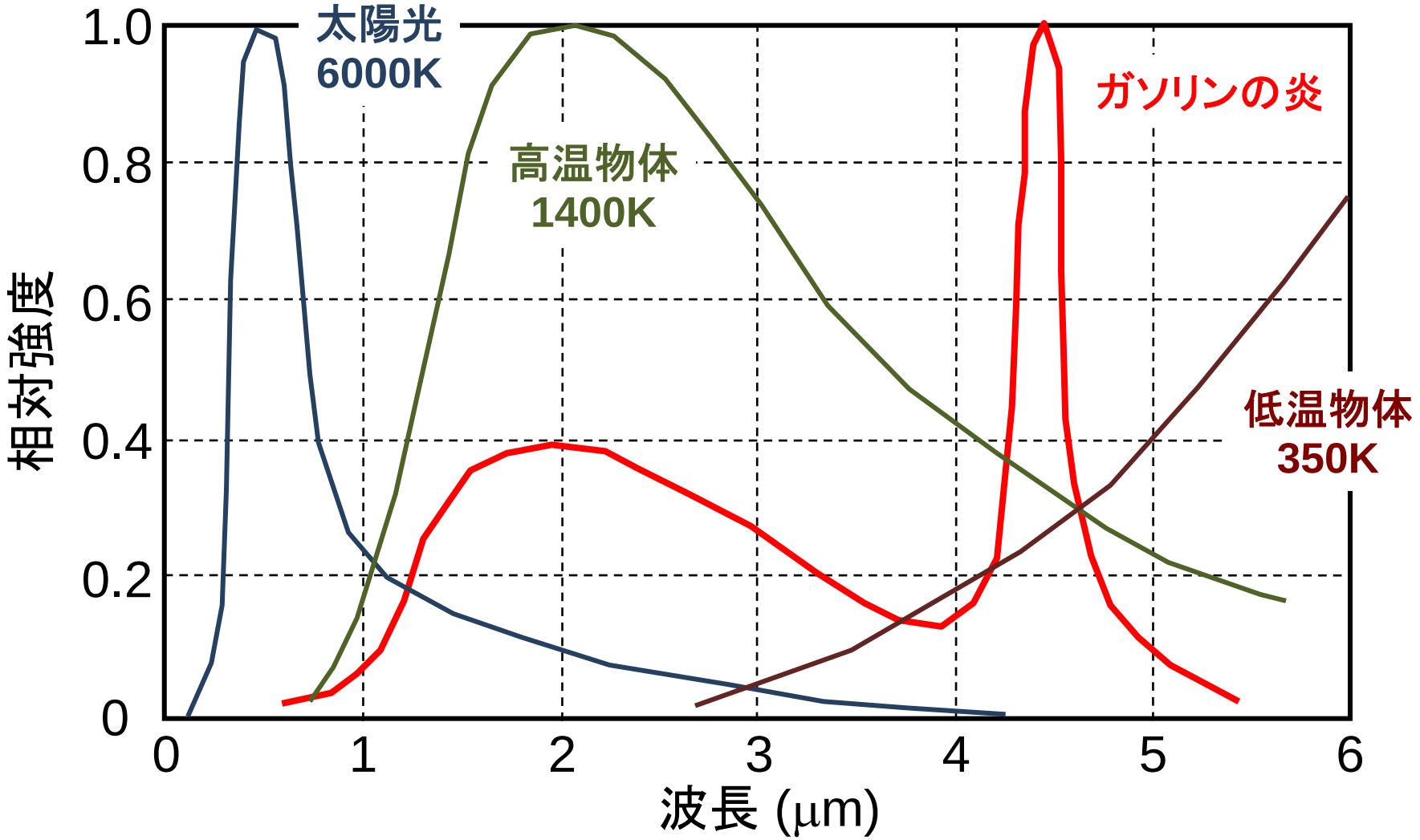
→ **Make**

Buyでは
・価格主導権はメーカ
・二流品でも購入
・不利な契約

Make or Buy　ー考察



CO_2共鳴放射


太陽光
6000K
高温物体
1400K
ガソリンの炎
低温物体
350K
相対強度
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
1
2
3
4
5
6
波長 (μm)

第３世代赤外線イメージャー

- **High-performance, high-resolution *cooled* imagers having two- or three-color band**
- **Medium- to high-performance *uncooled* imagers**
- **Very low cost, expendable *uncooled* imagers**

第３世代のデバイスイメージ

Pixel Format	1Kx1K, 1Kx2K, and 2Kx2K
Pixel Size	less than 20 μm
Display Format	16:9 may also be adopted
Spectral Band	Two or three color
	any combination of SWIR, MWIR, or LWIR including subdivision of those bands
Other Features	High frame rate operation
	Wide dynamic range
	High operating temperature
	On-chip smart signal processing

赤外線アレイセンサフォーラム

日時：2009年7月13日（月）13:00～19:00
場所：立命館大学びわこ・くさつキャンパス　ローム記念館5階　大会議室
主催：立命館大学、後援：立命館大学　ナノマシンシステム研究会

セッション1：赤外線アレイセンサを支える技術

1） 赤外線センサ用真空封止技術	ミヨシ電子
2） 赤外線センサ 真空封止へのゲッター技術の応用	サエスゲッターズジャパン
3） 量産向け赤外線レンズGASIRのセンサへの応用	ユミコアジャパン

セッション2：赤外線アレイセンサ技術

4） 赤外線位置センサIRPSD	コーデンシ
5） サーモパイル赤外線アレイセンサ	セイコーNPC
6） 160×120画素非冷却赤外線イメージセンサ	東芝

セッション3：赤外線アレイセンサを使う技術

7） 小形熱画像センサとその用途例について	チノー
8） ルームエアコン“霧ヶ峰ZWシリーズ”の開発	三菱電機
9） 防災分野における赤外線センサの利用	能美防災
10）自動車分野における赤外線センサの利用	日産自動車
11）JAXA赤外線検出器計画概要	JAXA

フォーラムデータ

参加者数　240名
　　民間企業　74社
　　公的機関　9機関
　　大学　8校

展示参加　31組織
　　民間企業　27社
　　公的機関　2機関
　　大学　2校

懇親会参加者 180名

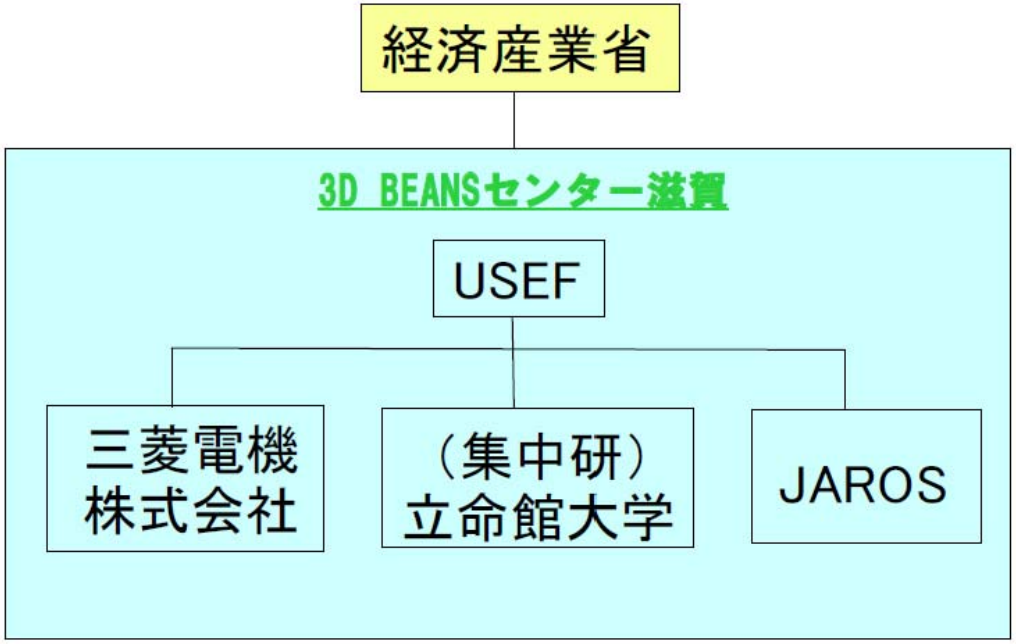
フォーラム講演会

展示／ポスターセッション＋懇親会

3D BEANSセンター滋賀

宇宙適用３次元ナノ構造形成技術

2008年度の研究開発体制



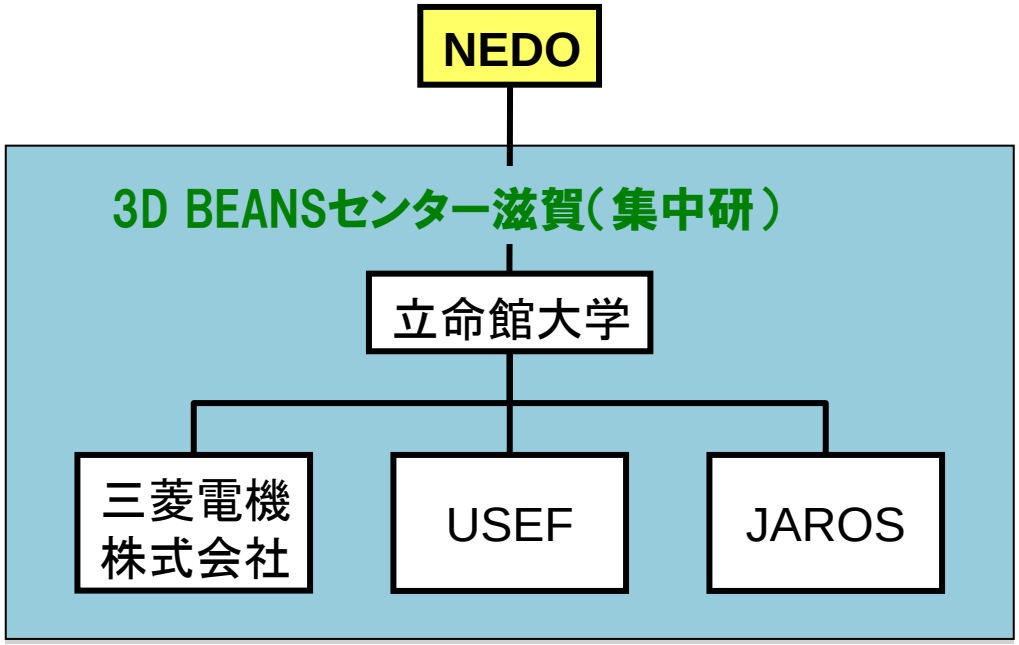
USEF　:財団法人　無人宇宙実験システム研究開発機構

JAROS:財団法人　資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構

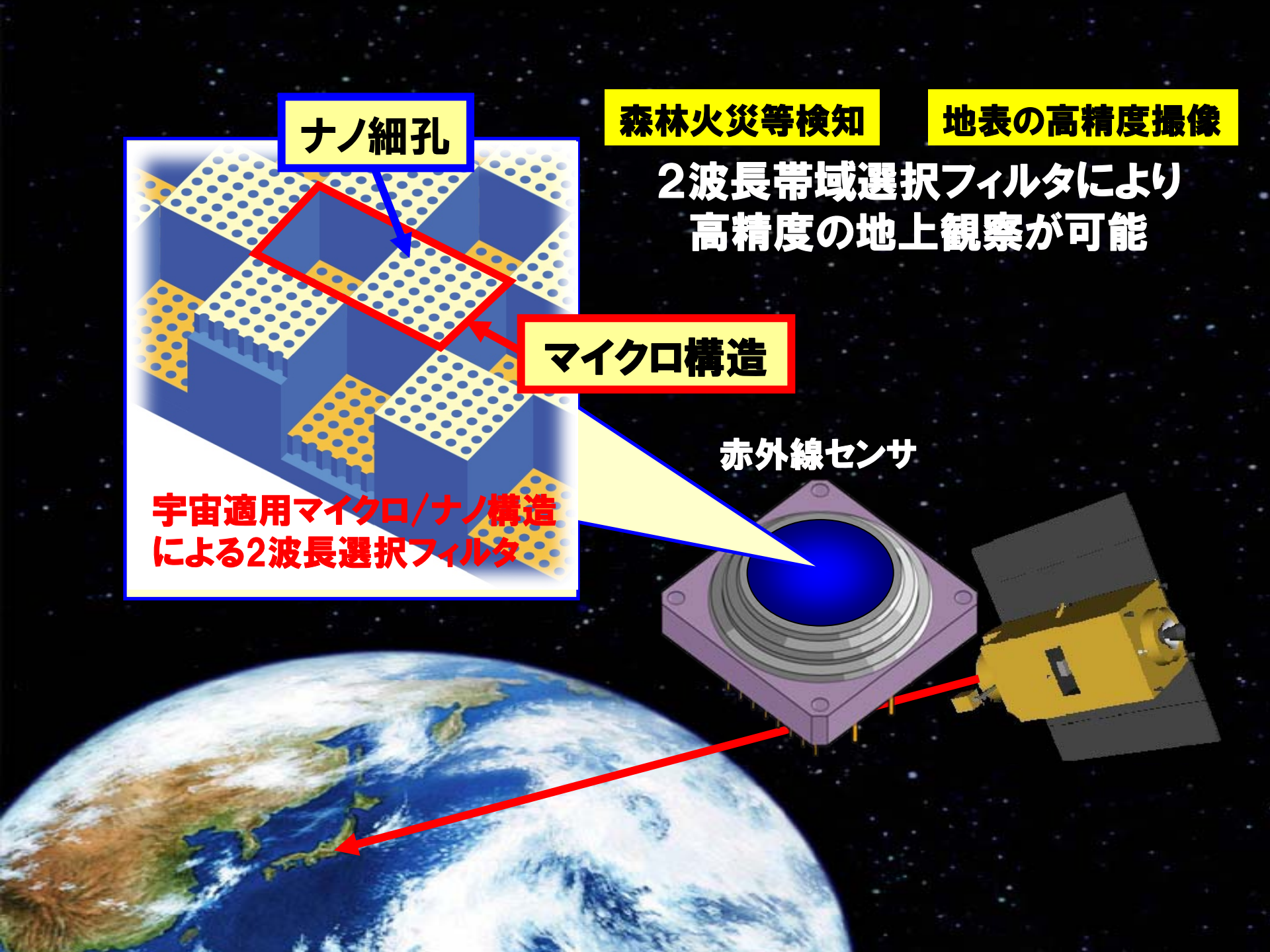
3D BEANSセンター滋賀

宇宙適用３次元ナノ構造形成技術

2009年度以降の研究開発体制



USEF:　財団法人　無人宇宙実験システム研究開発機構
JAROS:　財団法人　資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構


ナノ細孔
森林火災等検知
地表の高精度撮像
2波長帯域選択フィルタにより
高精度の地上観察が可能
マイクロ構造
赤外線センサ
宇宙適用マイクロ/ナノ構造
による2波長選択フィルタ

成果の実用化

宇宙適用
3次元ナノ
構造形成技術

→ 宇宙空間からのマルチバンド観測に必要なフィルタ

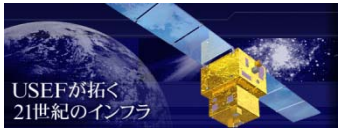
→ 衛星搭載用センサの小型・高機能化 国産化実現

→ 国際展開

マルチバンド観測センサの必要性

関連機関の調査研究

財団法人　無人宇宙実験システム研究開発機構（USEF）



・NEDO

H19年度小型化等による先進的宇宙システムの研究開発に関する先導調査

・機械システム振興協会

H18年度　高度なマヌーバビリティを有する**地球観測監視衛星**に関する調査研究

H19年度　高度なマヌーバビリティを有する**地球観測監視衛星**の具体化に関する調査研究

財団法人　資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構（JAROS）

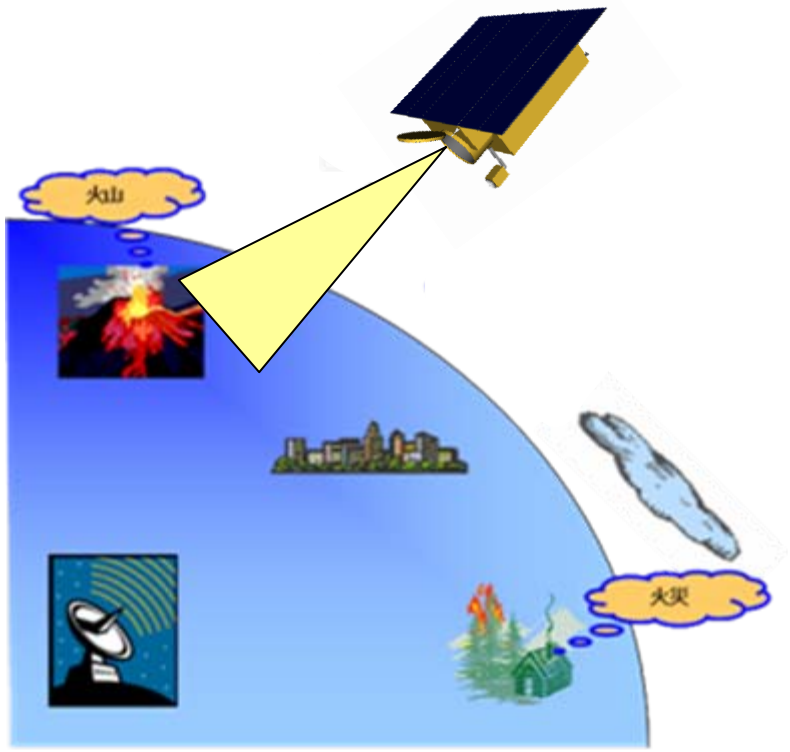
・日本機械工業連合会

H17年度　MEMS技術を用いた**熱赤外センサの実用化**に関する調査研究

H19年度　**次世代衛星搭載サーマルイメージセンサ**に関する調査研究

波及効果

・宇宙分野への適用



1. 安全安心な国民生活の実現

・災害監視

・環境監視

・防災

2. 経済社会への波及効果

・国際市場での衛星画像販売
　および衛星販売

・宇宙産業活性化

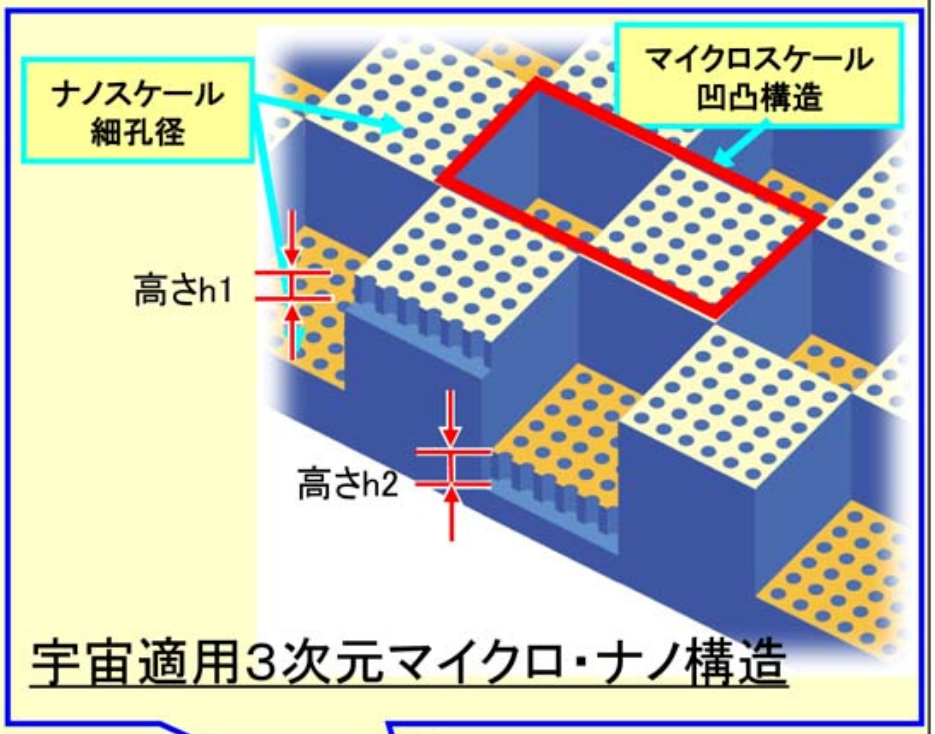
3. 重要技術の国産化

・宇宙用国産赤外センサの確保

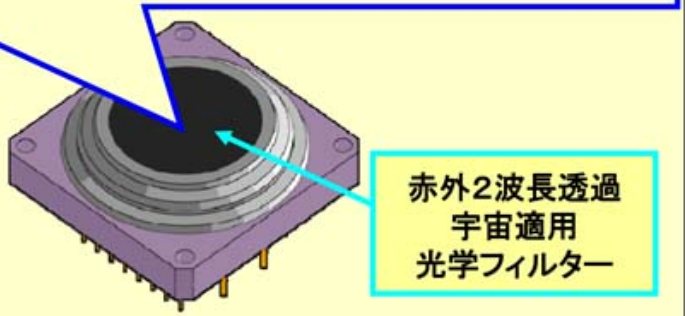
・宇宙以外の分野への応用

BEANS
3D:滋賀

技術開発概要



宇宙適用3次元マイクロ・ナノ構造



赤外センサ用パッケージ構造

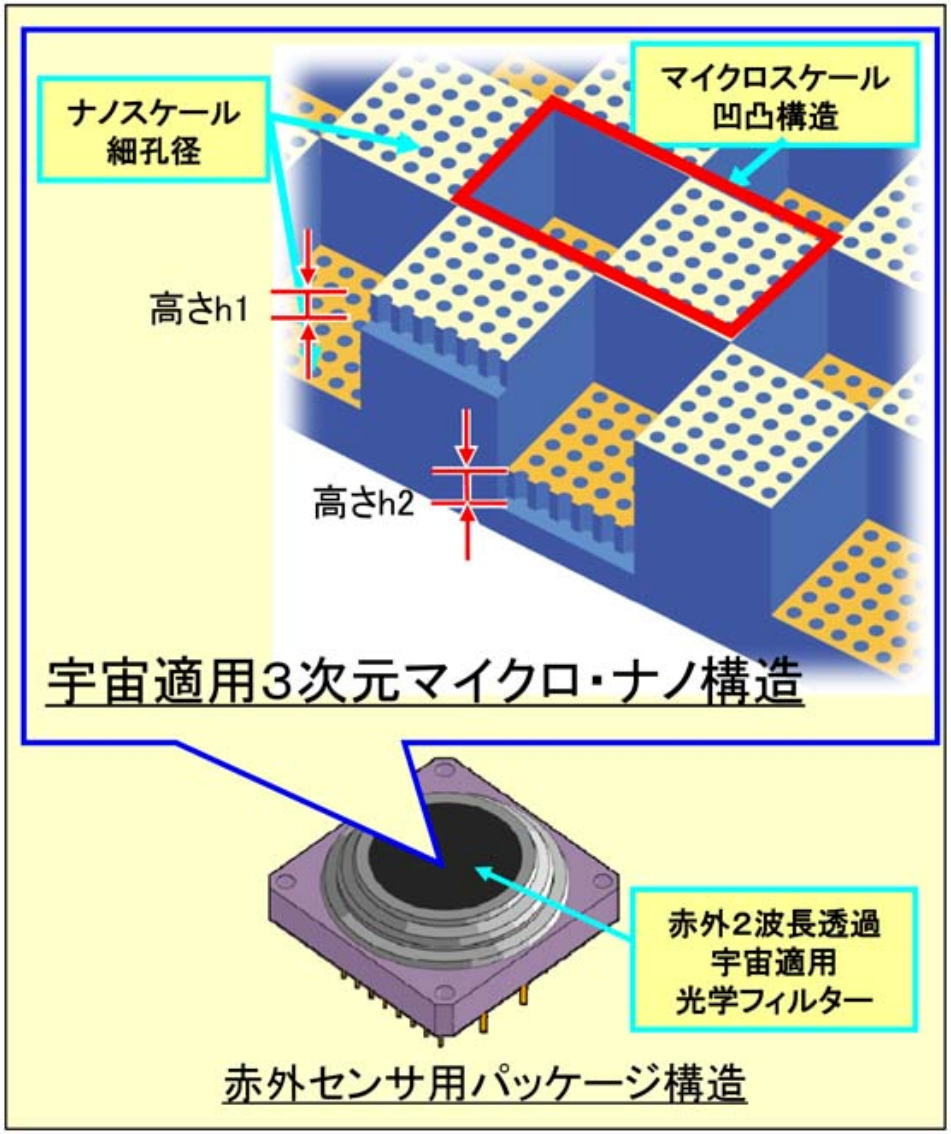
技術のポイント:

1. マイクロスケールの3次元構造にナノスケール(100nmレベル)の3次元構造を全面かつ均一に形成する。
2. 3次元ナノ構造サイズのチューニング可能なプロセスを開発する。
3. 自己組織化技術とトップダウン的転写技術を組み合わせてマイクロ・ナノ構造を形成する。

これらにより、赤外2波長帯域(3-5μm、8-12μm)において選択的透過率を有し新規性のある宇宙適用光学フィルターを実現する。

BEANS
3D：滋賀

技術開発項目



設計技術

サブ波長構造光学シミュレーション技術
2波長チューニング技術

製造技術

Al陽極酸化自己組織化マスク形成技術
多層構造形成プロセス技術

光学特性評価技術

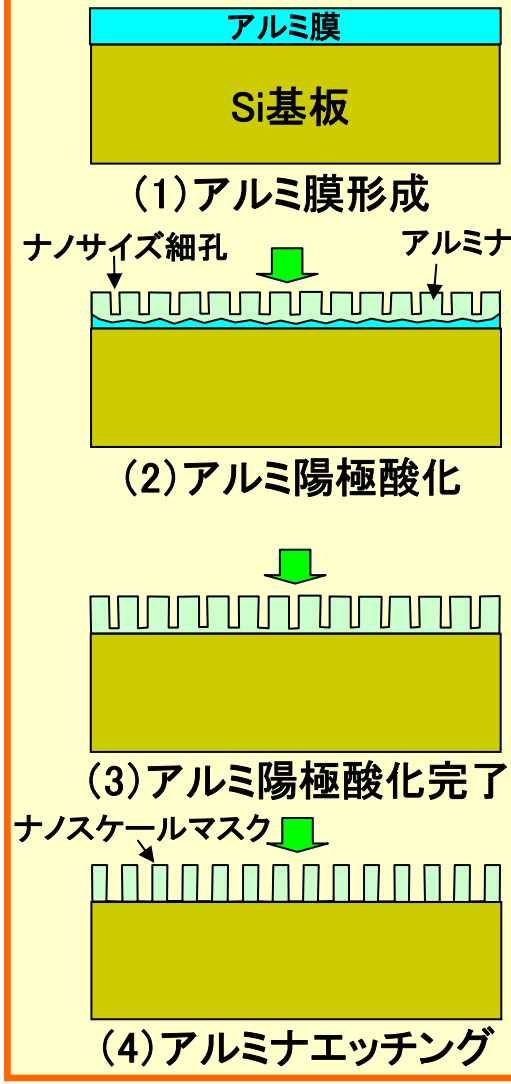
フィルタ特性評価技術

宇宙適用性評価指標検討

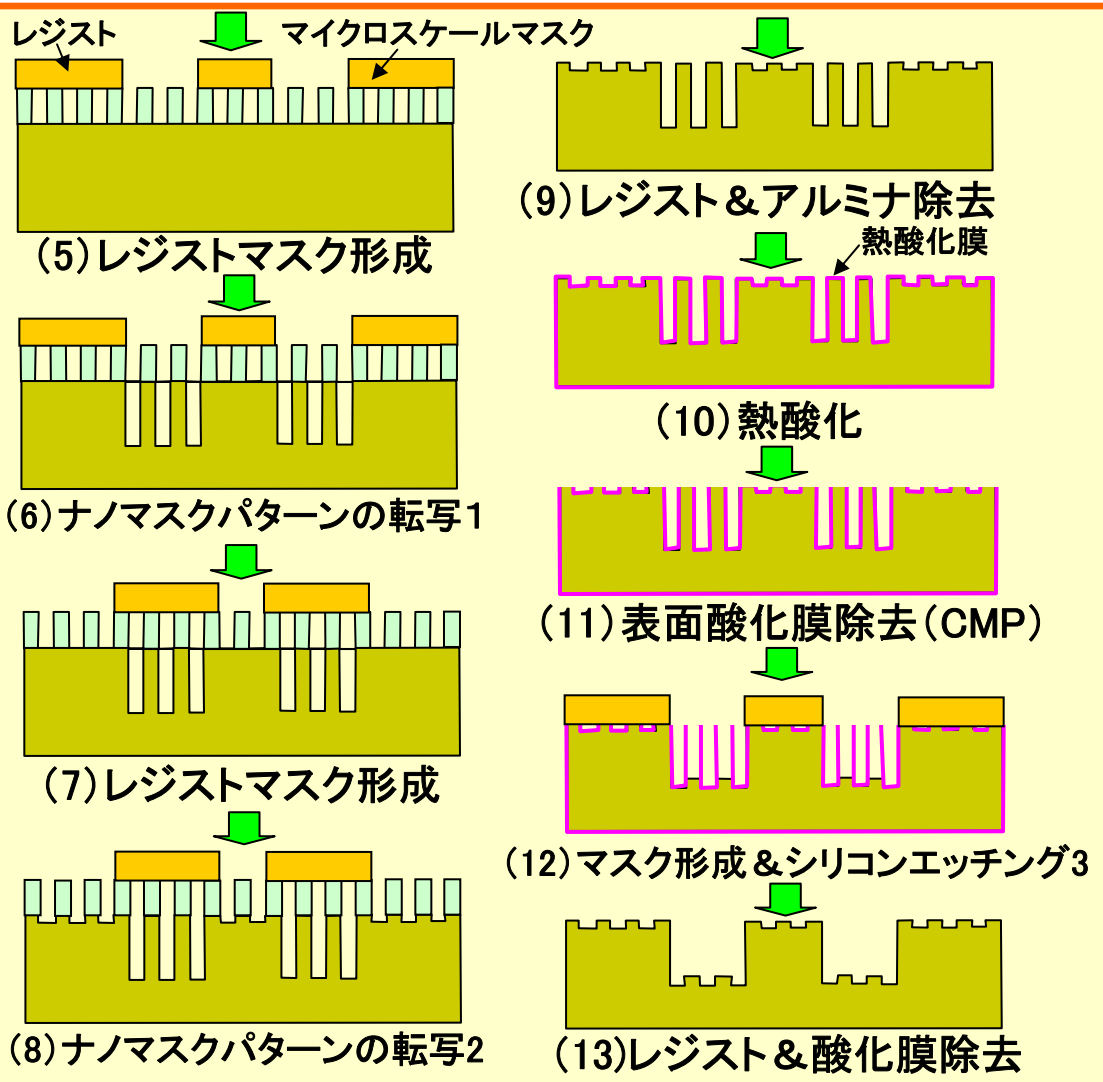
マイクロ＋ナノ構造製作プロセス

BEANS
3D：滋賀

均一なナノマスク作成法



ナノマスク⇒シリコン構造への転写プロセス

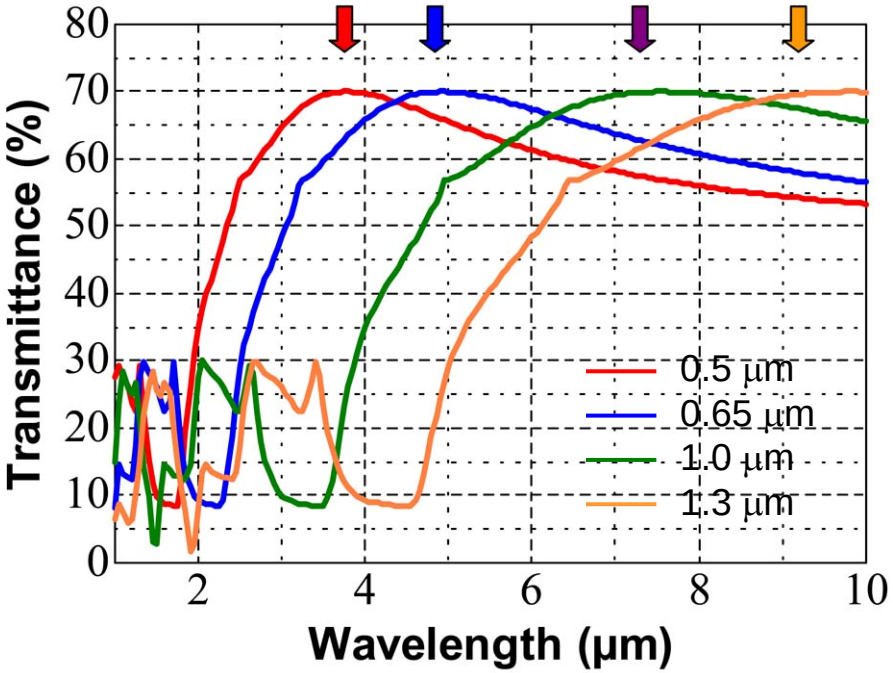


シミュレーション

実施内容：RCWA (Rigorous Coupled Wave Analysis：厳密結合波解析）を利用した光学シミュレーションを実施。単層および2層構造のSWSについて光学シミュレーションを実施

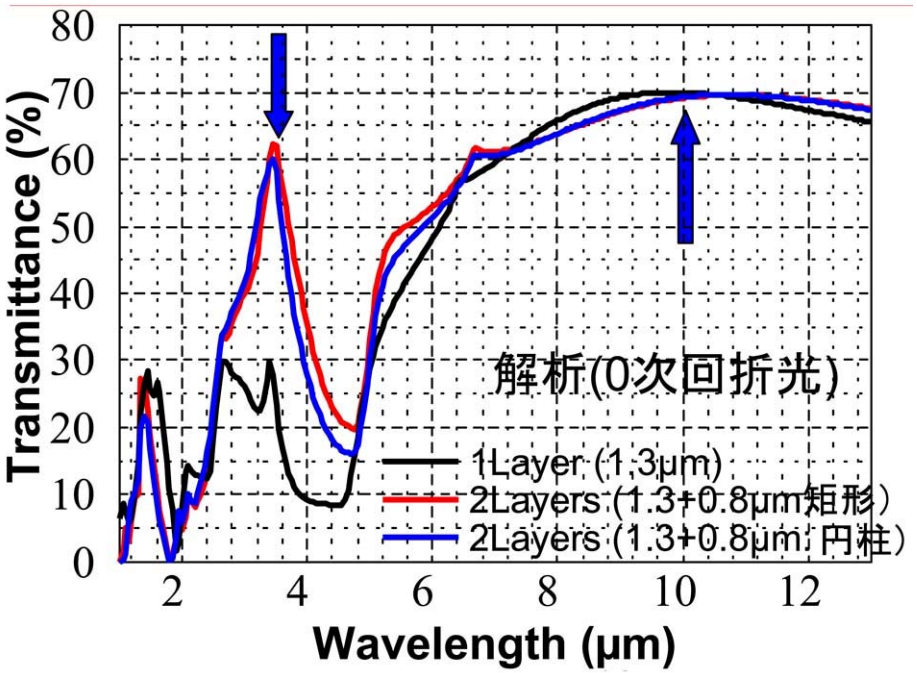
単層フィルタ

ピーク波長制御可能



2層フィルタ

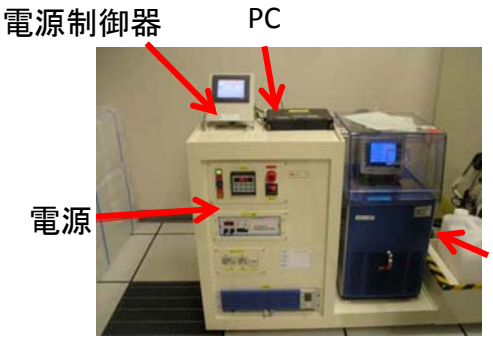
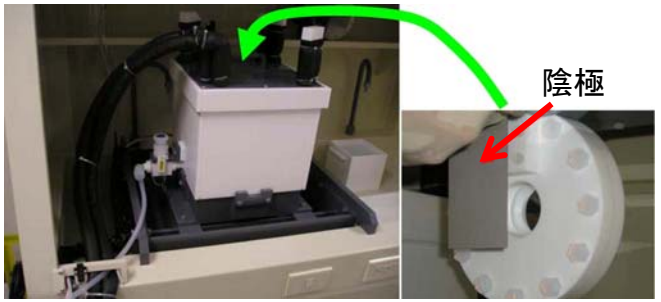
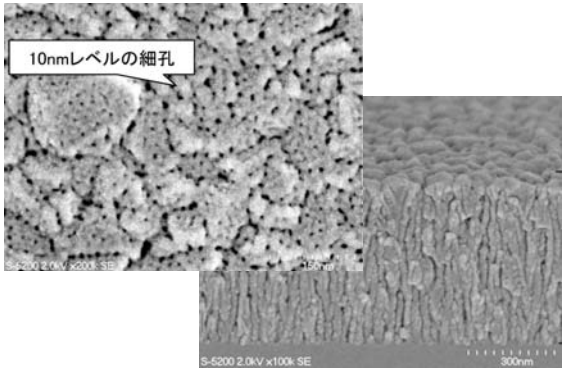
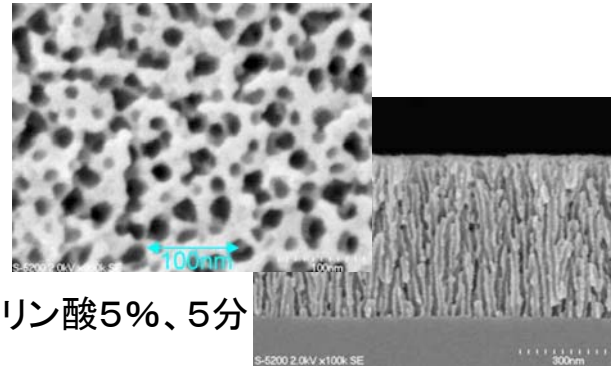
2波長選択性発現



その他検討した事項：回折光の影響を評価、充填率の影響を考察

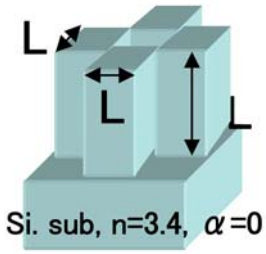
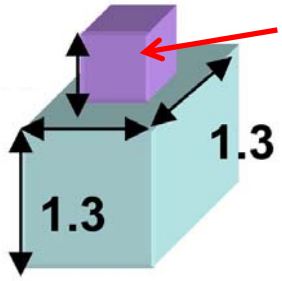
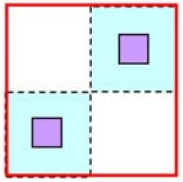
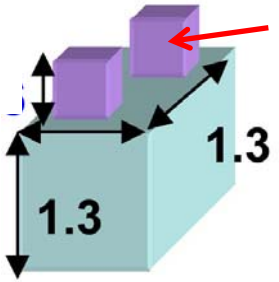
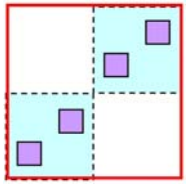
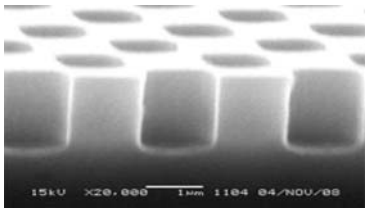
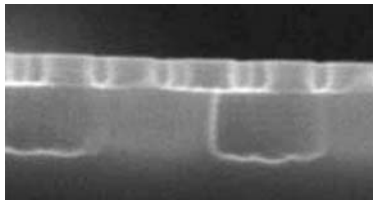
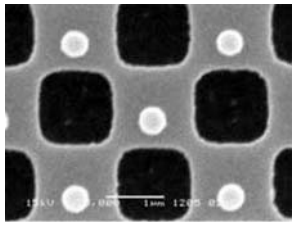
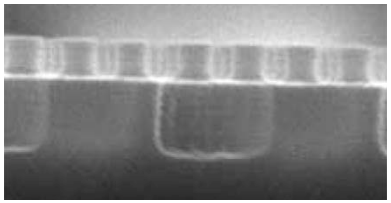
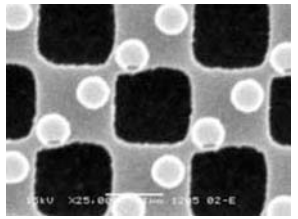
陽極酸化プロセス開発

実施内容：自己組織化されたアルミナ細孔等をマスクとしてシリコンを
エッチングする手法開発のための装置導入と条件だしを実施

陽極酸化装置 導入・立ち上げ	 ***電源＋温度コントローラ***  ***陽極酸化槽*** ***ウエハホルダー***
陽極酸化による 細孔形成と ワイドニング処理	***陽極酸化後***  ***ワイドニング処理後***  リン酸5%、5分
今後の課題	①細孔サイズ、ピッチの制御　②エッチングマスク機能の実現

原理早期検証試作

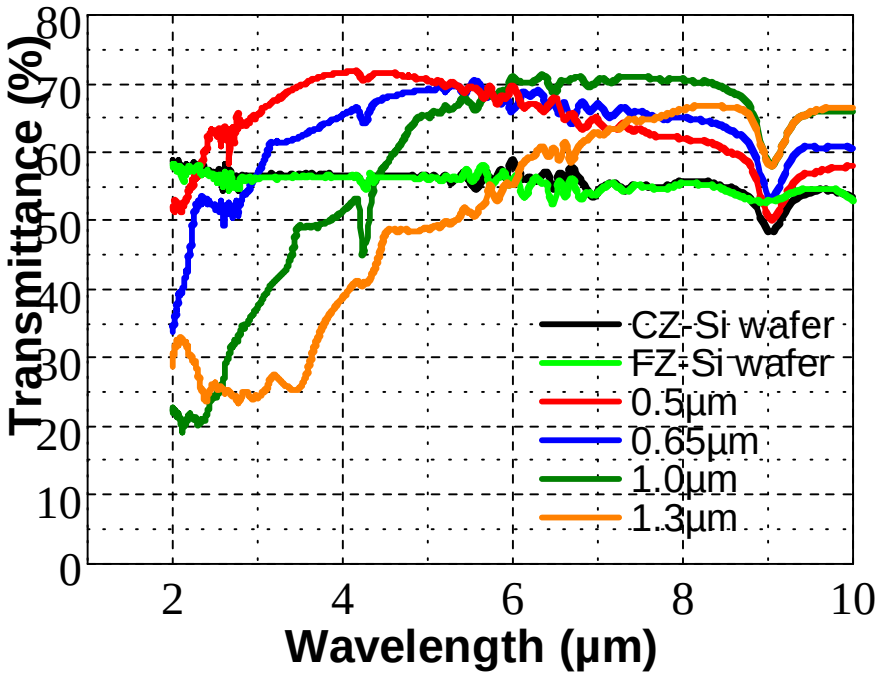
実施内容：SWS構造による波長選択透過特性の早期検証を目的に、
i線ステッパ露光を用いた手法により、マイクロ・ナノ構造を試作

タイプ	単層	2層	
プロセス	i線リソ→ICP RIE	i線リソ→ICP RIE→i線リソ→ICP RIE	
構造	 L = 0.5, 0.65, 1.0, 1.3 μm	 一辺 0.8 または0.5μmの 立方体 	 一辺0.65 または0.5μmの 立方体 
作製結果	 L = 1.3 μmの仕上がり	断面  表面  一辺0.5μmの仕上がり	断面  表面  一辺0.5μmの仕上がり

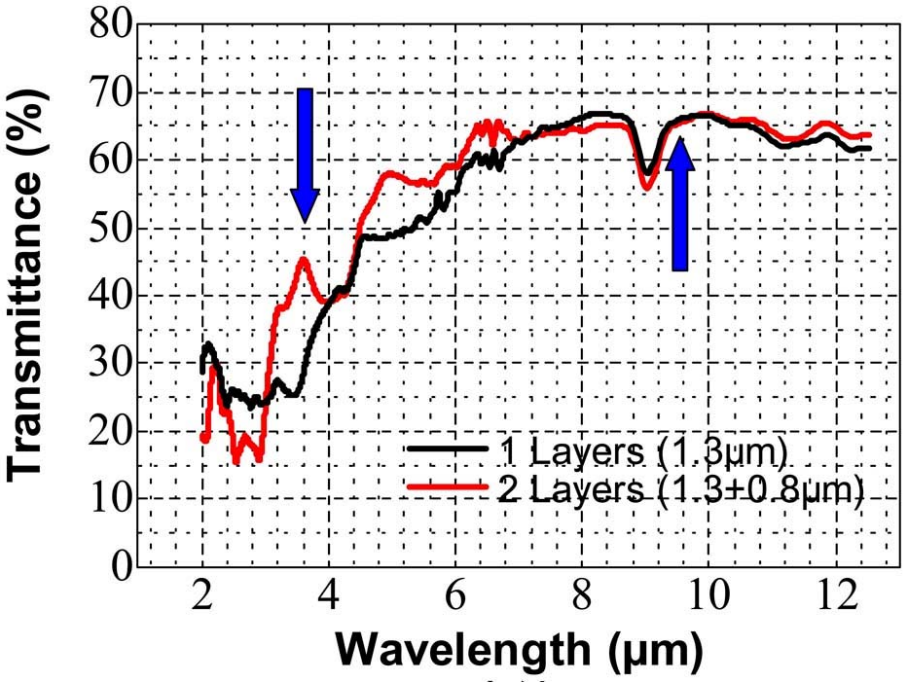
光学特性評価

実施内容：評価装置を挿入し、シリコン素材と試作されたフィルタの光学特性を実測

単層フィルタの評価



2層フィルタの評価



成果

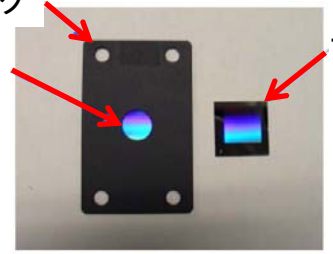
・ピーク波長制御を確認
・2波長特性の定性的確認

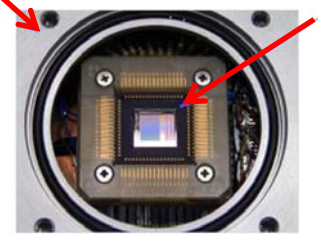
課題

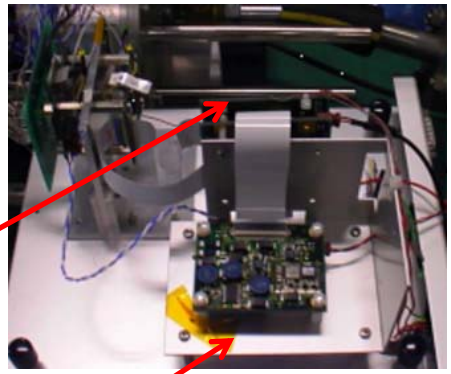
・短波長領域のシミュレーションと実測のズレ

フィルタ評価

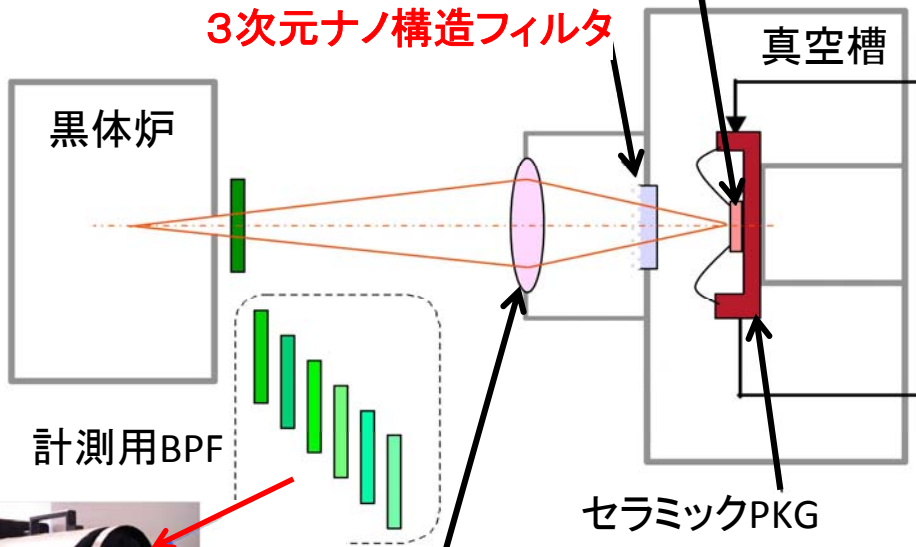
実施内容：小規模画素構造を有する非冷却赤外センサを用いて
宇宙適用3次元ナノ構造を有するフィルタの評価法を開発

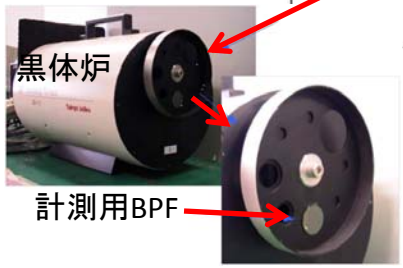


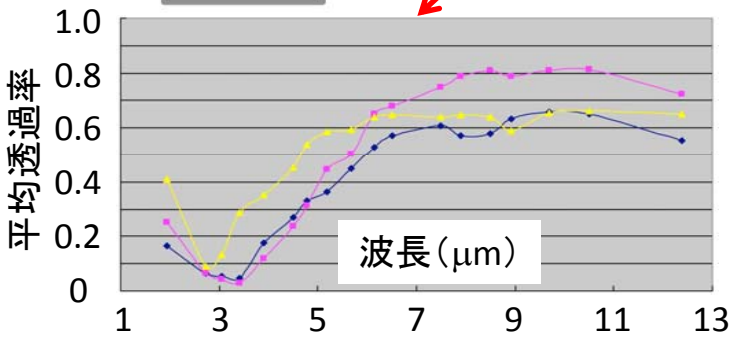




3次元ナノ構造フィルタ







適用性評価指標検討

実施内容：宇宙適用3次元ナノ構造の適用性評価指標を作成

動向調査

衛星搭載事例

(1) NASA MARS ODYSSEY MISSION搭載THEMIS
(2) ESA/JAXA EarhCARE搭載MSI & BBR
(3) JAXA Planet-C
(4) ESA/JAXA Mercury Planetary Orbiter

THEMIS: The Thermal Emission Imaging System
CARE: Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer
MSI: Multi-Spectral Imager
BBR: Broadband Radiomete

試験・故障モード

(1) MEMSの規格規定の現状調査
IECTC47 (Semiconductor Devices), WG4 (MEMS), IEEE, SPIE, Nippon-MEMS (Japan)等
(2) The U.S. Army Reliability Assessment Program によるMEMSの故障モード分類の調査

適用性評価指標検討

衛星／放射計仕様（仮定）

衛星高度： ～ 700km

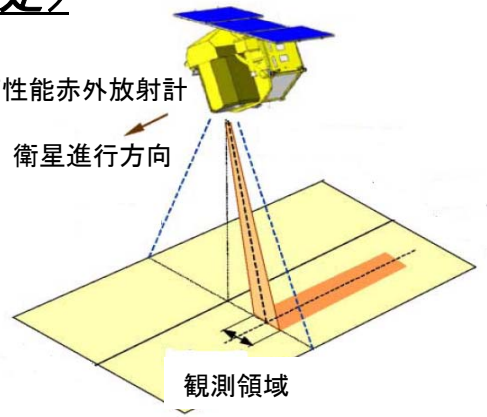
観測波長域：

3-5 μm/8-12 μm

地上(空間)分解能：～20m

NEdT：0.3K～0.5K@300K

光学系有効径： ～500mm



評価項目検討

【評価すべき性能】
(1) 分光特性
・分光透過率
・偏光特性
・入射角依存性
・真空／空気中の差異
・不要回折光
(2) MTF特性
(3) 2画素間感度偏差

【環境試験】
(1) 熱サイクル試験
(2) 熱真空試験
(3) 振動試験
(4) 衝撃試験
(5) 紫外線―深紫外線
(6) 放射線
(7) EMC

まとめ

1. 赤外線イメージセンサおよびそのマルチバンド化の有用性
2. 極少量生産デバイスとしての自主開発の意義
3. BEANSプロジェクトの宇宙適用3次元ナノ構造形成技術で目指すもの
4. 宇宙適用3次元ナノ構造形成技術の研究開発状況