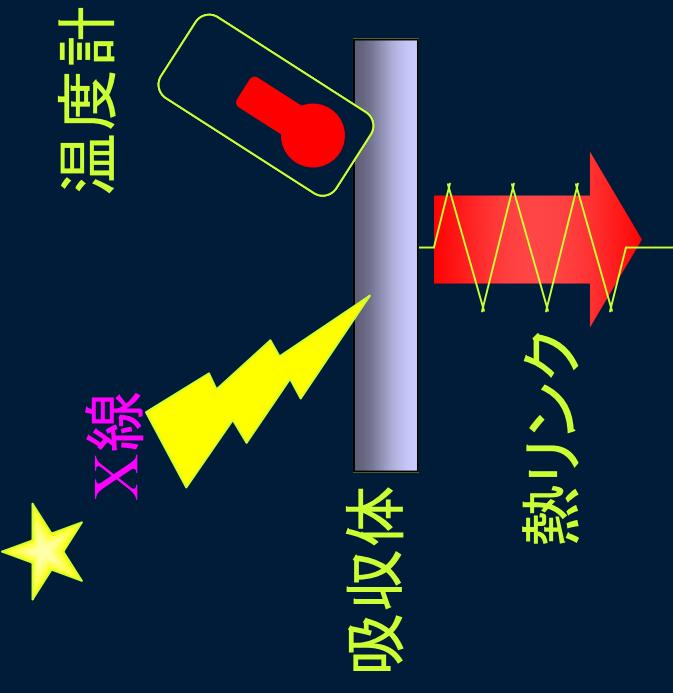


宇宙物理実験研究室  
古賀文雄

# TES型X線マイクロメータ の多素子化の研究

# 力口リメータとは

X線マイクロカロリメータの概念図



フォノン揺らぎ

$$N = \frac{CT}{k_B T} = \frac{C}{k_B} \quad \sqrt{N} = \sqrt{\frac{C}{k_B}}$$

温度計の感度  $\alpha$

$$\alpha \equiv \frac{d \ln R}{d \ln T}$$

分解能

$$\Delta E \sim \sqrt{\frac{1}{\alpha} N k_B T} \\ = \sqrt{k_B T^2 C / \alpha}$$

入射したX線光子1個1個のエネルギーを  
素子の温度上昇を計ることによって測定

# TES(Transition Edge Sensor)とは

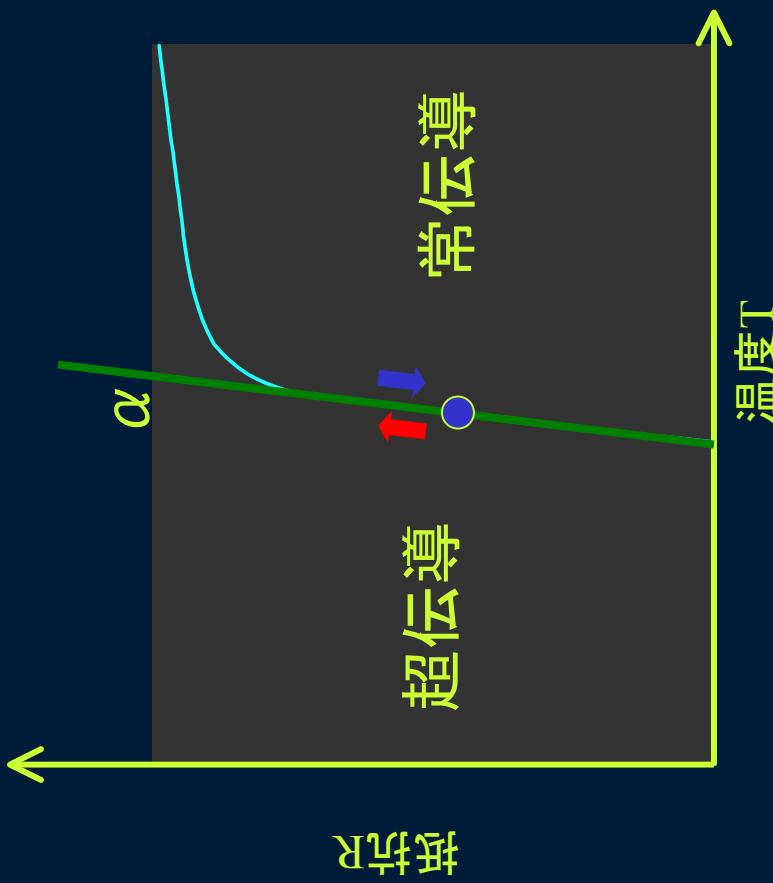
TES(transition-edge sensor)

$\alpha$  : 溫度計の感度

$$\alpha \equiv \frac{d \ln R}{d \ln T}$$

我々のゲループでは  
TESとしてAu/Ti二層薄膜を  
使用(転移温度  $\sim 200\text{mK}$ )

$\alpha$  : 数百~1000



超伝導遷移端の急激な抵抗変化を利用して温度変化に対してもつ温度計

# 次期X線天文衛星ミッション (2010年頃)

**DIOS**(Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor) 小型衛星ミッション



銀河間物質(dark baryon)の大構造を探る

$16 \times 16 = 256$ ピクセル  
TES型マイクロカロリメータ搭載

**NeXT**(New X-ray Telescope)



ガスダイナミクスで探る  
宇宙の進化

$\sim 1000$ ピクセル  
TES型マイクロカロリメータ搭載

# 目標

次期X線検出器に要求される性能

エネルギー分解能  $\sim 2\text{eV}$

撮像性能

pixel size  
 $\sim 1000\text{pixel}$   
 $\sim 500 \times 500 \mu\text{m}^2$

TES型X線マイクロカロリメータ

単素子でのエネルギー分解能

世界記録  $\sim 4\text{eV}@6\text{keV}$

我々のグループ  $\sim 6\text{eV}@6\text{keV}$

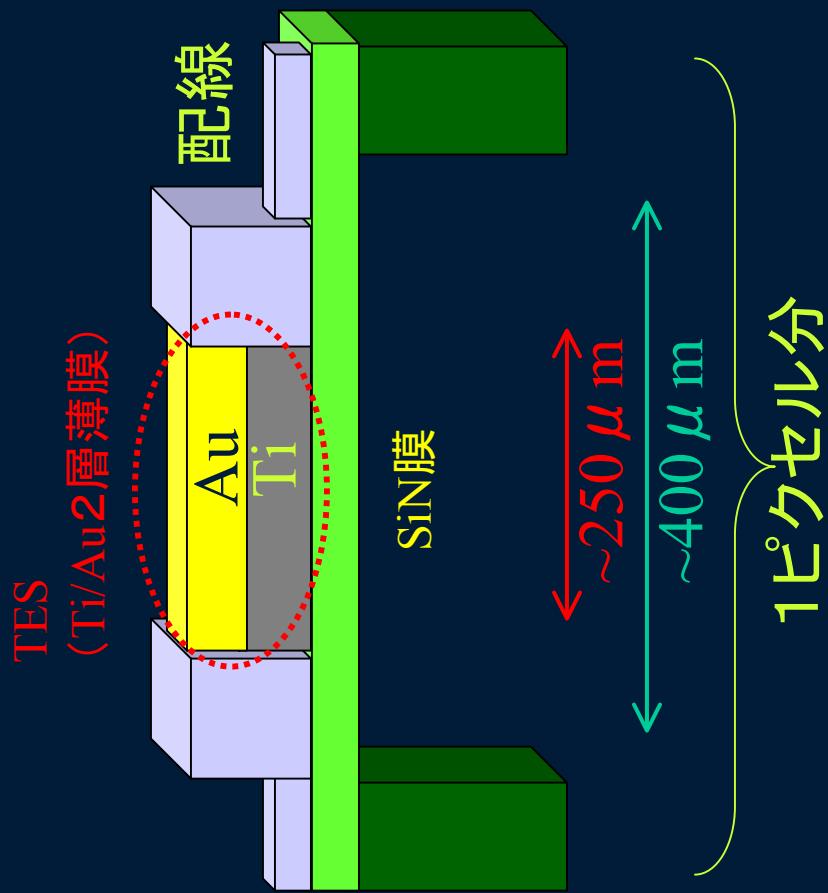
## 本研究の内容

多素子化に向けて

吸収体の材料、形状による性能の違いを評価

# TESの多素子化に向けた 開口率の向上

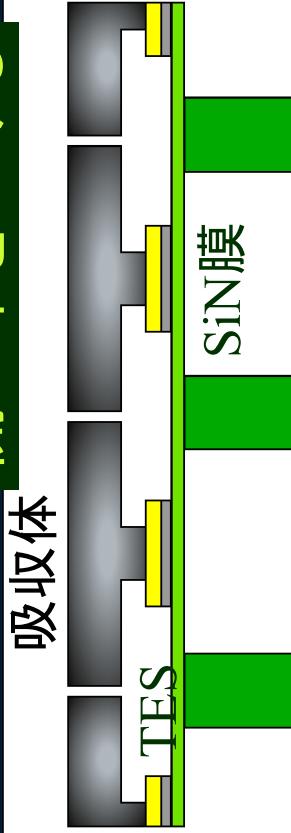
## TES断面模式図



このままでは開口率が低い

## マッシュユルーム型吸収体

開口率を上げる



Si基板の上にSn吸収体のみで  
作製されたマッシュユルーム構造

開口率  
73%

さらに改善予定

SE 29-Jul-02 001473 WD12.3mm 25.0kV x70 500μm

# 吸収体の材質

X線吸収体の材質に求められる性質

熱容量 小 ⇒ X線入射の際の温度上昇が大きい

熱伝導度 大 ⇒ 熱化を促進

原子番号 大 ⇒ 阻止能が大きい

電析(めつき)可能 ⇒ 吸収体を厚くすることが容易  
(我々のグループ独自の方法) 蒸着よりも密な構造を形成

今回の製作で使用した物質

Sn (原子番号50)

超伝導体(臨界温度3.7K)

⇒ 热容量 小  
電析が容易

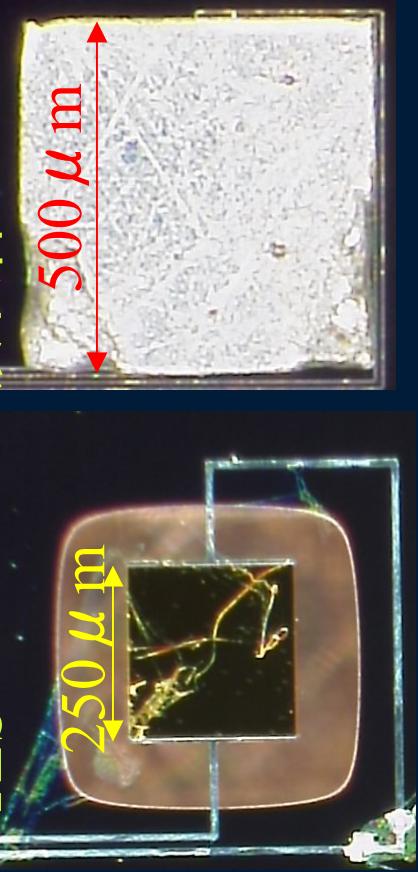
Bi (原子番号83)

半金属 ⇒ 热容量 小

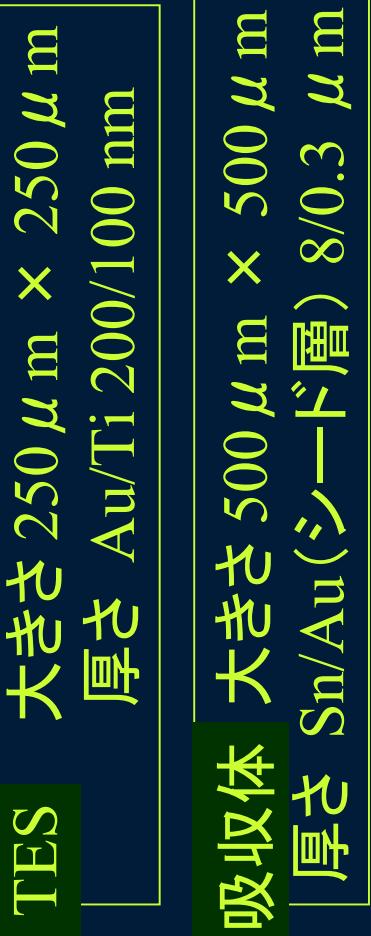
他所でTESの吸収体として  
使用され性能を出している

# 評価したTES力口リメータの構造

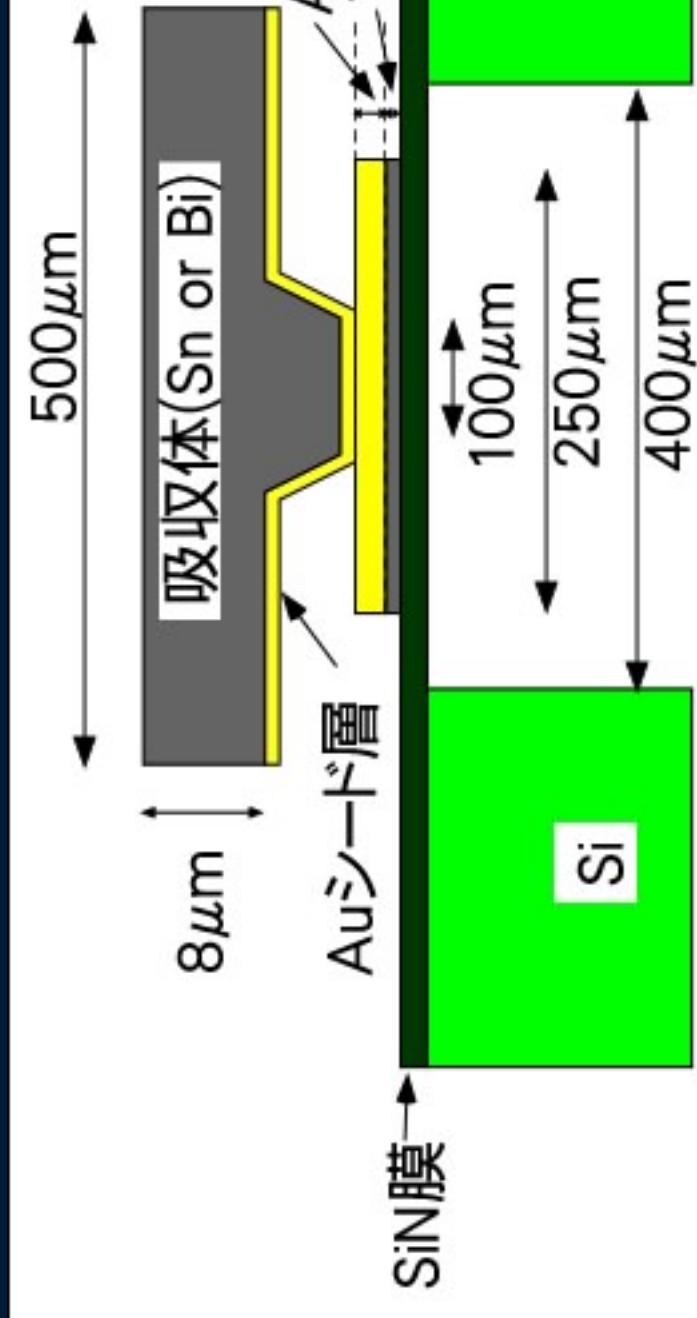
TES



吸収体

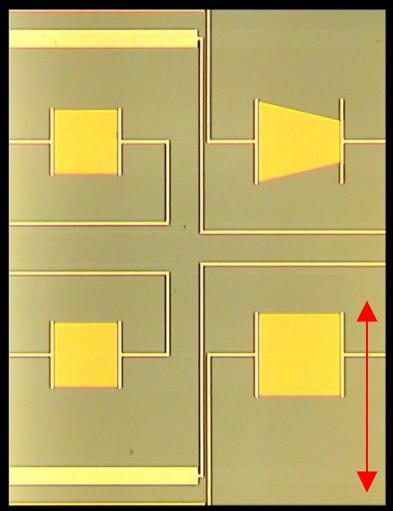


TES断面図



# 製作プロセス

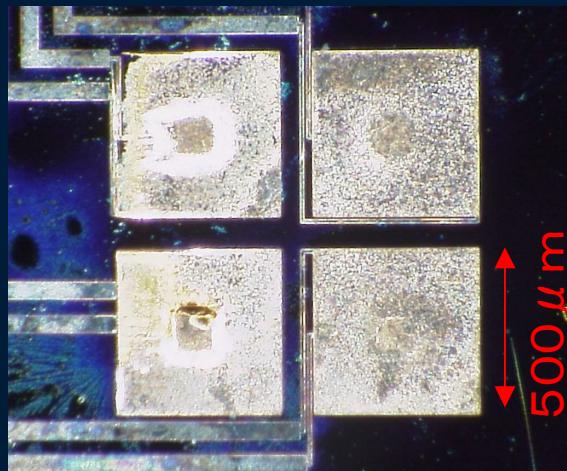
吸収体をつける前のTES(4素子)



早稲田大学にて  
製作

表面にレジスト  
(保護膜)を塗布

完成



シード層  
(Au)を蒸着

Sn or Biを電析

表面研磨

吸収体の厚さ8 μm

メンブレン構造にする  
裏をエッチングして

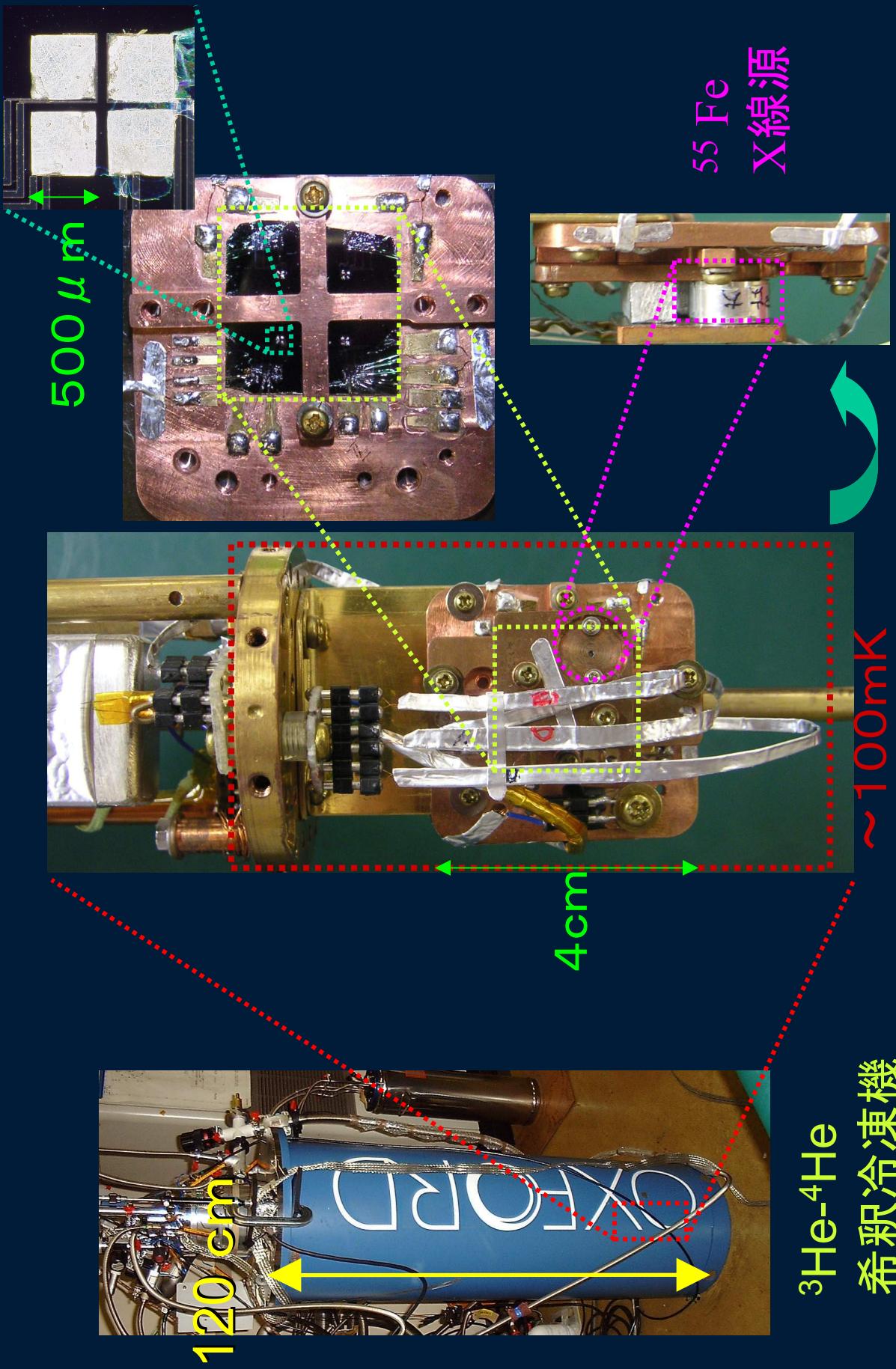
レジスト除去(アセトンで洗浄)

レジストで吸収体の形  
を作成

500 μm

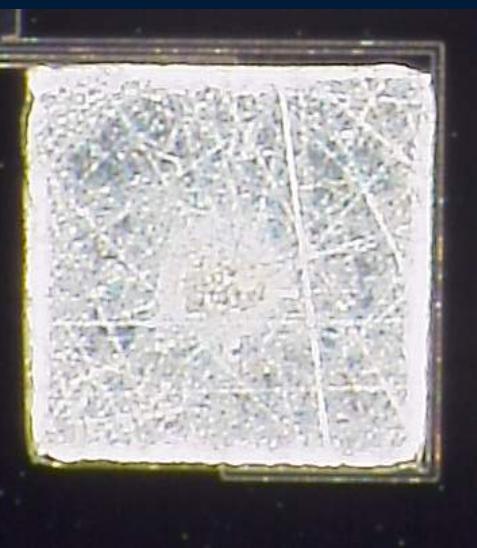
500 μm

# X線照射実験セットアップ

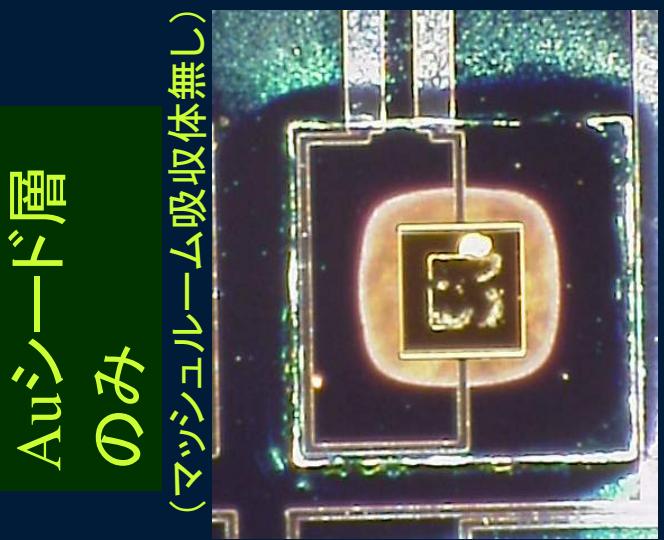
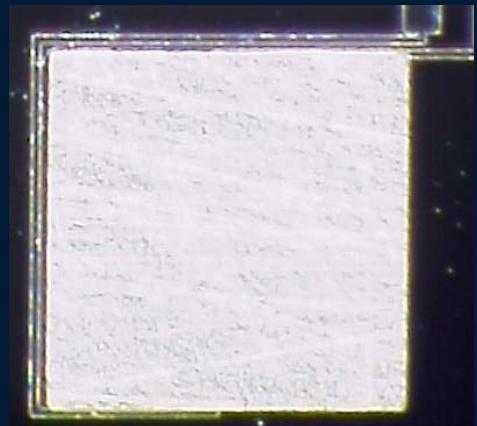


# 評価を行った素子

Sn吸収体



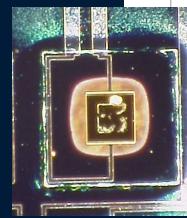
Bi吸収体



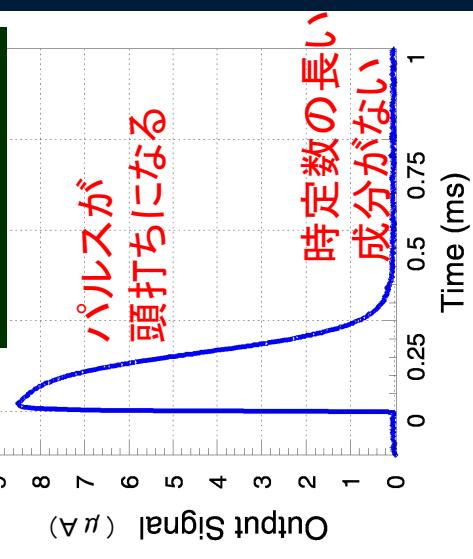
Auシード層  
のみ  
(マッシュユーム吸収体無し)

実験中にBi吸収体が剥落した素子  
残ったAuシード層でX線を吸収

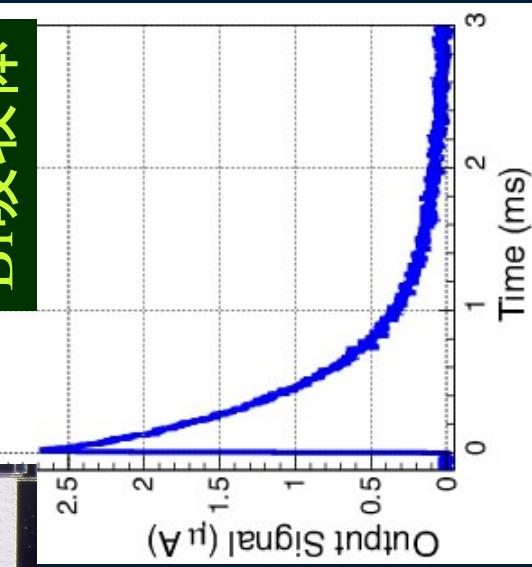
# 実験結果—X線ノバルス



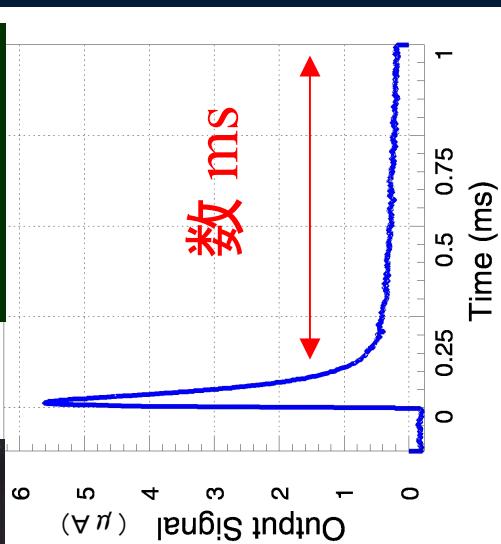
Auシード  
層のみ



Bi吸収体



Sn吸収体



時定数  $\sim 0.1\text{ms}$  の短い成分と長い成分と  
2成分がノバルスに含まれている

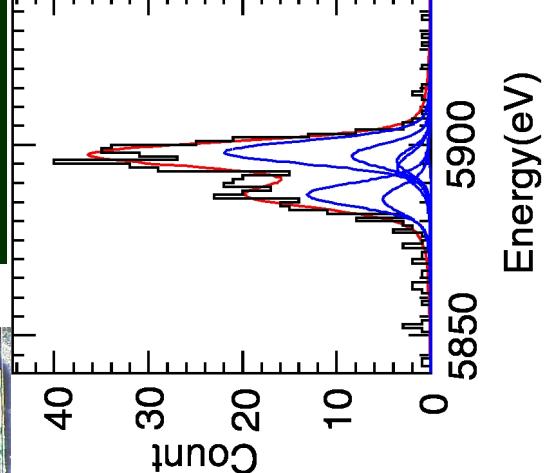
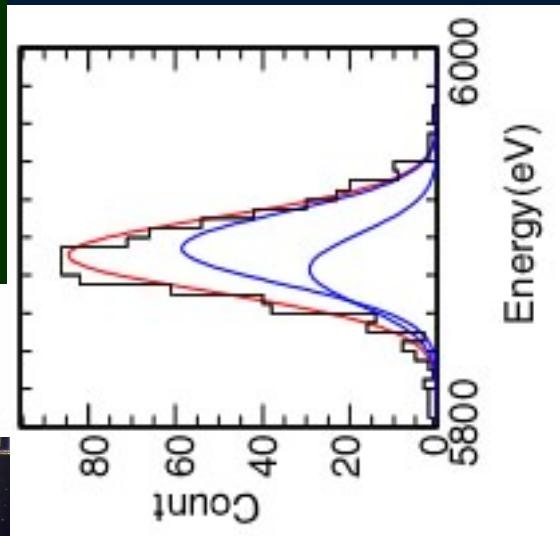
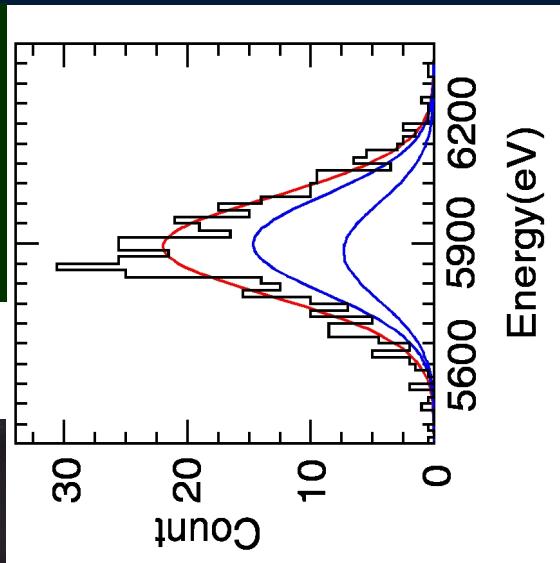
パルスの時定数が長い(熱容量大)

吸収体の熱容量が小さいため温度上昇が遷移端を飛び越える

パルスが頭打ちになる  
長い成分の割合24% 長い成分は無い

# 実験結果—スペクトル

Mn K $\alpha$  1、K $\alpha$  2 ラインのスペクトル



$$FWHM = 6.3 \pm 0.4 \text{ eV}$$

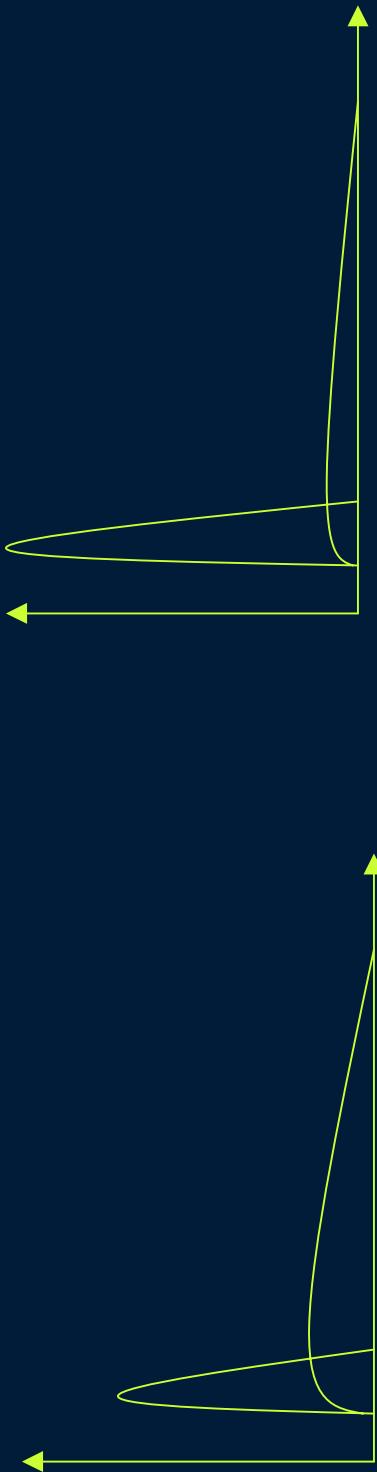
$$FWHM = 44.5 \pm 1.5 \text{ eV}$$

$$FWHM = 173 \pm 3.5 \text{ eV}$$

パルスを積分してエネルギー換算したスペクトル  
Snに比べBi吸収体のほうが性能が良い

# 長い時定数の成分による影響

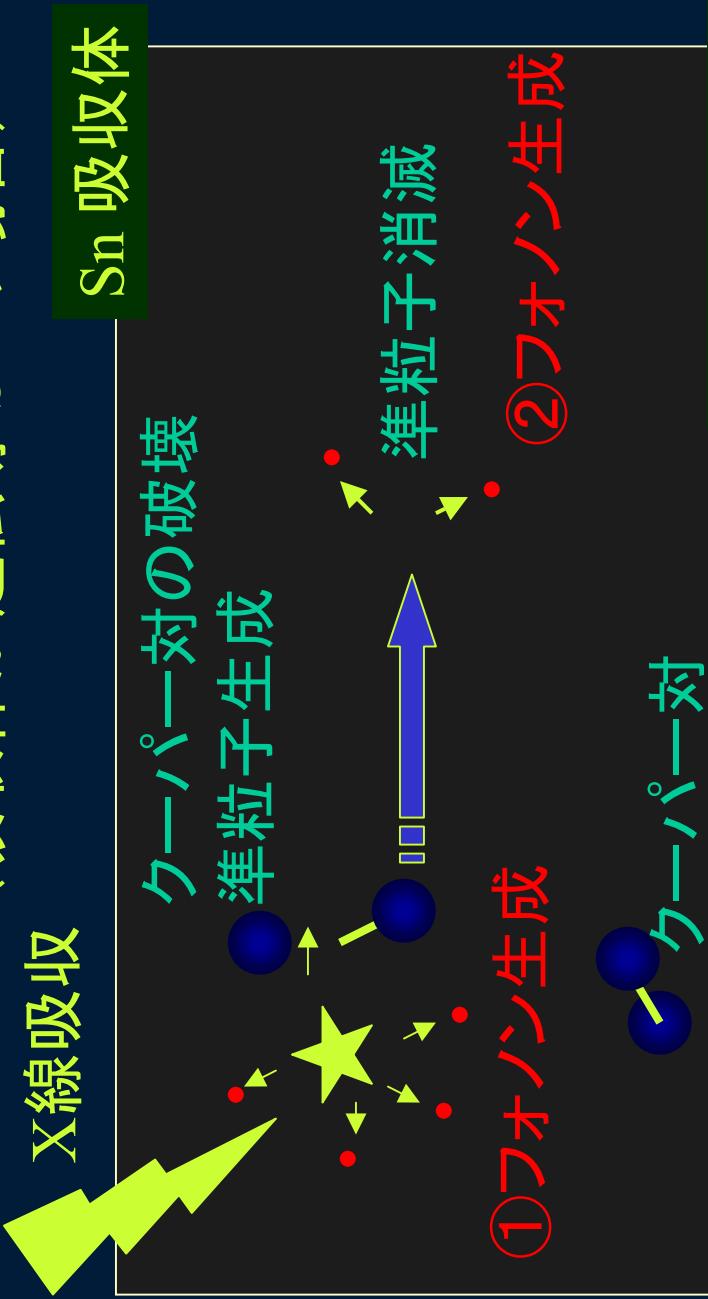
- ① 2つ成分の割合が一定ではないため  
パルスの形状が安定しない



- ② パルスを積分する際  
ノイズも積分されてS/Nが悪くなる  
⇒分解能が悪化

# 長い時定数の成分の原因①

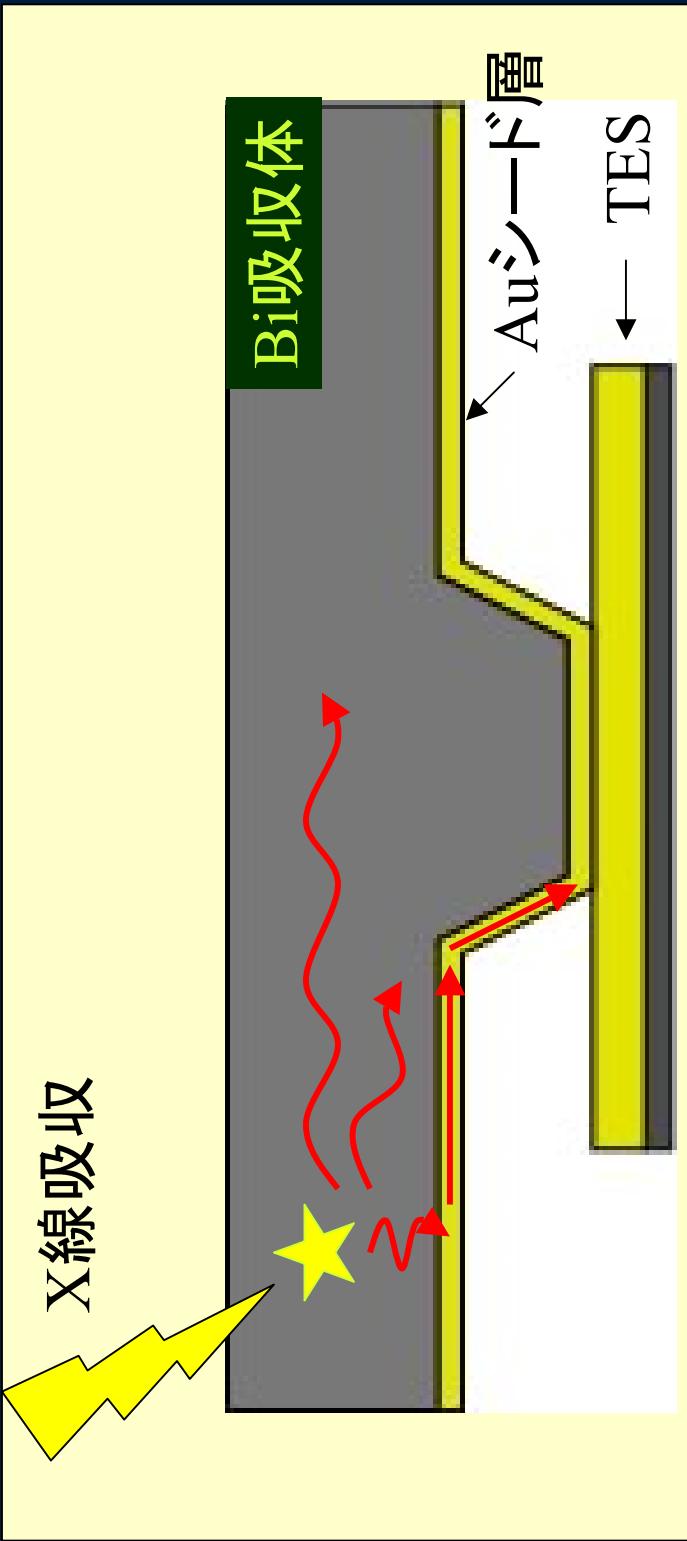
(吸収体が超伝導 Sn の場合)



②準粒子が数ms寿命の後消滅しフォノンを生成するので、時定数の長い成分が現れる

①X線吸収時に、フォノンと同時に準粒子も生成される

# 長い時定数の成因②



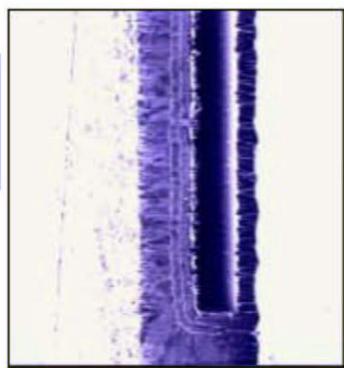
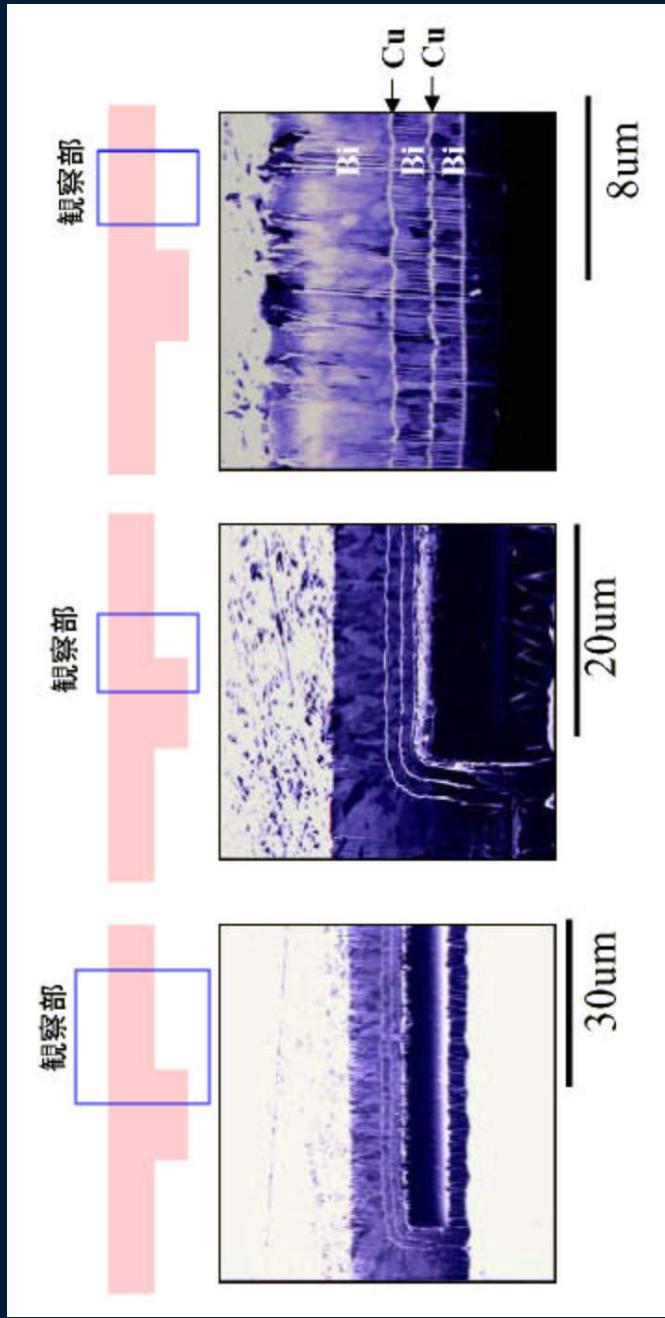
①縦方向に伝わったフォノンは  
Auシード層到達後、比較的速く  
TESに到達する。

②横方向に伝わったフォノンは吸  
収体内熱伝導度が小さいため  
TESに到達するのが遅くなる

# 改善策

吸収体の熱伝導度を大きくする  
⇒ Bi-Cuをはさんだ多層膜吸収体

多層膜吸収体構造の試作品

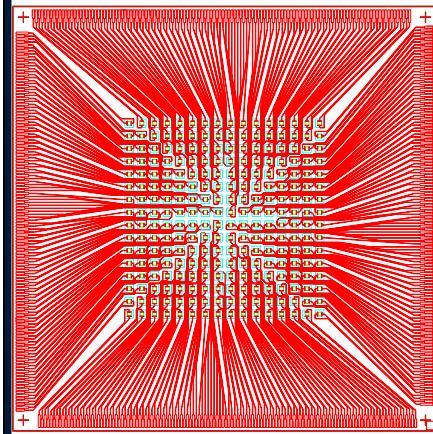


テスト用の素子は完成 ⇒ 近々実験予定

# まとめと今後

- ・マッシュユーレーム吸収体つき素子の性能評価を行った
- ・素子の分解能
- ・時定数の長い成分の影響で悪化  
準粒子、熱伝導が原因
  - ⇒吸収体を Bi にすることで改善
  - ⇒さらに改善するために  
Bi に Cu をはさんだ多層膜吸収体を作成

16x16ピクセルTESカロリメータアレイ設計図



- ・多素子化に向けて  
2x2の構造の製作プロセスは確立
- ⇒16x16pixel のアレイを作成