TES型マイクロカロリメータの X線γ線に対する応答特性の研究

宇宙物理実験 山川 善之

目次

- 1. 研究背景と目的
- 2. TESカロリメータの動作原理
- 3. 吸収体の決定と貼り付け
- 4. SII-115素子の測定結果
- 5. SII-155素子の測定結果
- 6. まとめ

1. 研究背景と目的

- 次世代X線天文衛星
 - DIOS 銀河間物質(Missing baryon)の大規模構造を探る 面積の広いX線吸収体が必要
- 気球実験
 - 超新星残骸の⁴⁴Tiからのγ線(68/78 keV, T_{1/2}=49 yr)の観測
 従来の半導体検出器 ΔE~数100 eV
- 地上実験
 - 超高圧下に置かれた結晶のX線回折実験 @ KEK
 ~100 keVのエネルギー帯域で ΔE~数10 eVが必要

•吸収体付きカロリメータの応答 •γ線カロリメータの可能性 0.7 mm

スズ吸収体を接着した素子の製作と性能評価

2. TESカロリメータの動作原理

 ・X線マイクロカロリメータ TES温度計(Transition Edge Sensor)
 X線光子のエネルギーを 超伝導転移端を温度計として利用 素子の温度上昇として検出 d log R



吸収体の選択

熱容量の条件 *E_{max}*:入射光子の最大エネルギー *ΔT*:遷移端の幅 *C > E_{max} / ΔT* ~ 60keV / 2mK ~ 5 pJ/K スズ(Z=50)を吸収体として選択 超伝導体で熱容量が小さい LLNLで実績あり 52 eV@60 keV サイズ 0.79 mm×0.87 mm×0.3 mm厚 熱容量 C_a=11.2 pJ/K @150 mK



ベースとしたTESカロリメータ





TESTi/Au厚さ40/70 nmX線吸収体Au厚さ500 nmメンブレンブリッジタイプ転移温度151 mK

TES Ti/Au
厚さ 40/120 nm
X線吸収体 Au
厚さ 500 nm
メンブレン 全面タイプ
転移温度 151 mK
ΔE = 12 eV @ 5.9 keV

吸収体の貼り付け スズ箔吸収体をはさみで切り出し エポキシ系接着剤で固定。

メンブレン(SiN)との 接触防止用のスペーサー



実験装置 ^{希釈冷凍機(OXFORD社製)}







線形性 SII-115+Sn

直線からのずれ1.2 %@60 keV





熱容量C_aを小さく 熱伝導度G_aを大きく スズ箔吸収体の形状の最適化

SII-155での改良点

メンブレン構造: ブリッジタイプ → 全面タイプ (強度アップ)

吸収体のサイズを最適化

Spice シミュレーションの結果、C_a~6 pJ/Kあれば線形性OK 0.63 mm×0.67 mm×0.3 mm厚、C_a=6.85 pJ/K @150 mK

接着剤を最小限に 接着剤の熱容量~1/2 TES-吸収体間の熱伝導度~2倍

SII-<u>155への吸</u>収体の貼り付け



パルス波形





エネルギー分解能 $^{350}\Delta E_{\rm FWHM} = 38.4 \pm 0.9 \, {\rm eV}$ 100300 250 60 keV 80 200-Energy Resolution (eV) 150 60 100 50 4059.3 59.4 59.5 59.6 Energy (keV) $\Delta E_{\prec - \pi = 37.9 \pm 0.7 \text{ eV}}$ 201000 ノイズ 800 Counts 400 200

-0.2

-0.1

0

Energy (keV)

0.1

0.2



核 γ 線(60, 26 keV)→ベースラインに一致 その他のライン→自然幅、etc.が原因

線形性





熱容量を小さく抑えたことでノイズ揺らぎが大幅に改善。 パルスのばらつきがほぼ無視できるようになった。

まとめ

- スズ吸収体を貼り付けてγ線カロリメータを試作
- エネルギー分解能 *ΔE* = 38.2 ± 0.9 eV@60 keV
 *ΔE*_{ベースライン} = 37.9 ± 0.7 eV
 を達成。世界最高レベル。
- パルス波形をモデルで再現できることを確認
- 60 keVで~2%の線形性、エネルギー決定精度~ 10 eV

今後の予定

- 断熱消磁冷凍機で動作試験
- ・超高圧結晶のX線回折実験@KEK(3月に予定)

SII-115の構造とRT特性



SII-155の構造とRT特性



TES Ti/Au 厚さ 40/120 nm X線吸収体 Au 厚さ 500 nm メンブレン 全面タイプ C = 1.84 pJ/K @ 150 mK ΔE = 12 eV @ 5.9 keV

