

Ti/Au 二層薄膜を用いた TES-ETF

X 線マイクロカロリメータの研究開発

宇宙物理実験研究室

0083428 広池 哲平

我々は次世代 X 線天文衛星搭載を目指し、TES (Transition Edge Sensor) を用いたマイクロカロリメータの研究開発を宇宙研と共同で行っている。

X 線マイクロカロリメータとは、入射した X 線光子のエネルギーを素子の微小な温度変化として精密に測定する検出器である。模式図を図 1 に示す。エネルギー分解能は 10 eV 以下で、比例計数管や CCD に比べ一桁以上も良い分解能を有し、高い検出効率を同時に有する利点を持つ。

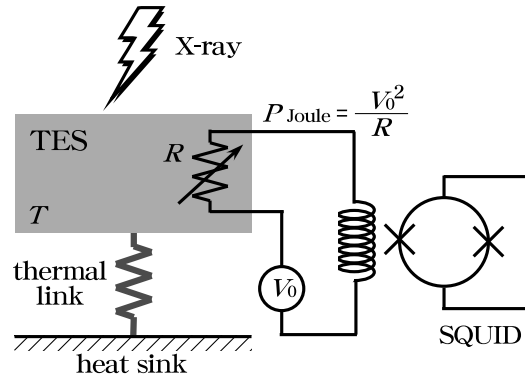


図 1: カロリメータの模式図

カロリメータのエネルギー分解能 (FWHM) はボルツマン定数 k_B 、検出器の熱容量 C 、温度計の感度 $\alpha = \left| \frac{d \ln R}{dT} \right|$ を用いて、 $\Delta E_{\text{FWHM}} \propto \sqrt{k_B T^2 C / \alpha}$ と表される。熱容量 C は温度に強く依存するので動作温度を ~ 100 mK の極低温とし、温度計感度 α を大きくする必要がある。

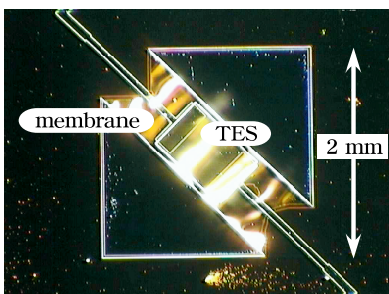


図 2: 素子の写真

TES とは金属薄膜の超伝導 – 常伝導遷移時の急激な抵抗 R の変化を利用する高感度の温度計である。一般に超伝導遷移端は数 mK と非常に狭いが、ETF (Electro-Thermal Feedback = 電熱フィードバック) という負のフィードバックを用いて、定電圧バイアス駆動しながら TES を超伝導遷移端で安定に動作させることが可能である。図 2 に我々が実験に用いた素子の写真を示す。

TES の信号は微小電流変化として取り出されるので、低雑音の SQUID アンプを用いて読み出した。

本研究ではエネルギー分解能の向上を第一目標とし、様々な素子について X 線に対する特性や、ノイズの性質を系統的に調べる実験を行った。

厚さ Ti 50 nm/Au 60 nm の二層薄膜の TES を薄い Si_3N_4 (1 μm 厚) で支える新型のカロリメータ素子を希釈冷凍機に組み込み、TES の抵抗値 (R)–温度 (T) 特性を調べた。得られた $R-T$ 曲線が図 3 である。超伝導遷移温度 289 mK、遷移幅は 1 mK 以下 ($\alpha > 1000$) の素子が作製された。

このように、昨年度まで TES の課題とされていた鋭い遷移を示す素子の作製に成功を修め、再現性という課題も条件の良い製膜装置を使用することで克服できるようになった。また、遷移幅が狭くなることで X 線のパルスハイトが高くなり、S/N が良くなることが期待できる。

この素子を用いて得られた X 線スペクトルが図 4 である。Mn $\text{K}\alpha$ (5.9 keV) に対するエネルギー分解能は 46 eV と昨年度の値 99 eV の改善に成功した。この最も良いエネルギー分解能を示した素子について主に発表を行う。

ノイズの振る舞いも理解が深まり、エネルギー分解能の改善は進んでいるが、X 線の吸収が TES の超伝導領域で行われるか、常伝導領域で行われるかで熱の伝播過程に違いがみられるという新しい問題が浮上してきた。これについては TES の上に金の吸収体を設けることで改善できるはずである。また、この素子の超伝導遷移温度は 289 mK と比較的高く、鋭い遷移幅と低い超伝導遷移温度を同時に合わせ持つ素子の作製が次の課題である。今後高性能のスパッタ装置の導入により、より優れた TES の作製は大きく進展すると期待される。

これらの改善を行った最新の素子を用いた実験では、エネルギー分解能は 26 eV とさらに向上しているため、この結果についても簡単に紹介する。

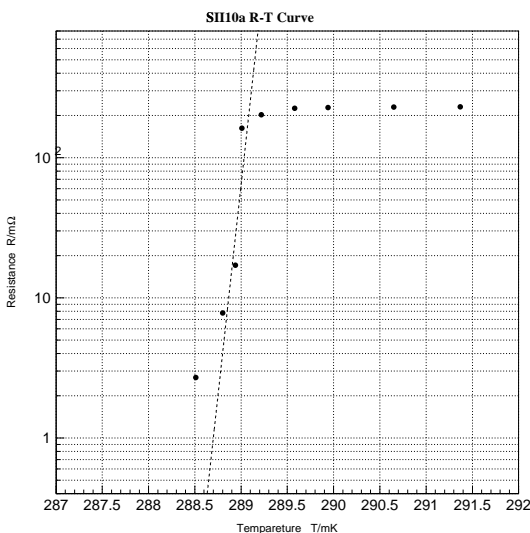


図 3: TES の R-T 曲線

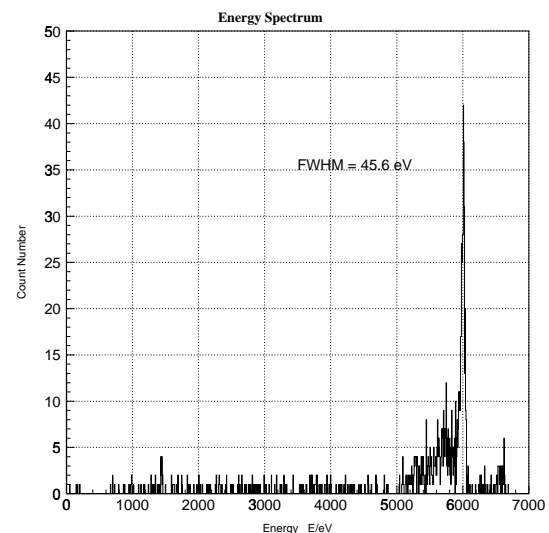


図 4: 取得されたエネルギースペクトル