

論文審査の結果の要旨

氏名 宮崎 利行

本論文は、次世代 X 線天文衛星に搭載される高エネルギー分解能 X 線マイクロカロリメータについて、素子開発のみならず、新しい信号読み出し方法まで含めた開発を記述したものである。

X 線天文学はこれまでに、中性子星やブラックホールとの連星系や超新星残骸、銀河団や活動銀河核など様々な高エネルギー天体を発見してきた。現在では撮像素子による画像情報や X 線分光器によるスペクトル情報を得ることで、高エネルギー天体の正体とそのメカニズムを解き明かしつつある。この過程で日本のグループが果たしてきた役割は大きく、世界最先端の技術を蓄積してきているが、これをさらに発展させて、画像とスペクトルを同時に取得できる検出器を開発しようという機運が高まっている。

本論文ではその一つの可能性として、温度計として超伝導薄膜を利用した TES (Transition Edge Sensor) 型マイクロカロリメータを 2 次元化した検出器を取り上げている。ここで最も重要なのは、約 1000 画素を持った素子を目標にする場合、その信号読み出し方法である。検出素子自体の性能が高くても、読み出し方法を工夫しなければ、本来のエネルギー分解能を引き出すことはできないからである。そこで、従来のような素子ごとの個別読み出しでも、アメリカのグループが提唱している SQUID アンプを高速スイッチングするマルチプレクス方式でもない、全く新しい方法を本論文では提唱している。それはマイクロカロリメータに流すバイアス電流を DC から AC に変更し、そのキャリアー信号の周波数を変えることにより、画素ごとの信号を分離する読み出し方法で、論文提出者はこれを CABBAGE (CAlorimeter Bridge Biased by an AC GEnerator) と名付けている。

本論文は 6 章から構成されており、第 1 章では研究の動機とその対象となる天体物理現象が述べられ、第 2 章で X 線マイクロカロリメータの原理を解説し、次の第 3 章で本論文の核となる CABBAGE の動作原理を詳しく解析している。第 4 章では 2 素子の TES の信号加算に用いた 4 入力型 SQUID の動作特性が記述されているが、この素子も本研究の重要な要素技術である。第 5 章において、CABBAGE の実験結果をまとめており、変調周波数で信号分離する基本動作の確認と、その場合のノイズ特性が示されている。最終章となる第 6 章では 32×32 (約 1000) 画素検出器を提案し、低温および回路技術の補遺で締めくくっている。

銀河のように広がった天体の撮像と X 線分光を同時に行うためには、1000 画素以上の空間分解能かつ 5eV 以下のエネルギー分解能が必要とされる。このエネルギー分解能を実現するものに Ti-Au 超伝導薄膜を用いた TES 型マイクロカロリメータがあり、約 4eV のエネルギー分解能が見込める。また、この素子は 2 次元化が可能であり、撮像能力をもたせることができる。本研究では試作した 2 素子の TES を使い、4 入力 SQUID アンプと組み合わせて原理的な動作確認とノイズ特性の測定を行っている。信号読み出しは、10kHz と 20kHz の AC バイアスを用いた CABBAGE 方式で信号分離している。実測されたノイズは $840 \pm 150 \text{eV}$ で、通常の DC バイアス時の $880 \pm 150 \text{eV}$ を上回る特性である。これは最終目標の 4eV を達成しているわけではないが、動作温度 400mK での抵抗の熱雑音で決まっており、衛星搭載時に想定される 65mK まで冷却すれば約 3eV になるはずである。そこまで冷却するためには信号読み出し線からの熱流入を抑えなければいけないため、信号線の本数が圧倒的に少ない CABBAGE 方式の利点が活かされることになる。さらに、 32×32 画素 X 線検出器への潜在能力を考えれば現時点では十分な成果といえ、実際に 32ch 読み出しでもエネルギー分解能は 4eV を達成できることが示されている。

このように本研究により次世代の衛星搭載 X 線検出器に関して一つの可能性が開かれたとともに、それを用いた新たな天体现象の解明の指針も述べられており、X 線天文学の展開に貢献大と認められる。

なお、本研究の一部は、満田和久・藤本龍一・庄子習一との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。