

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009 ～ 2012

課題番号：21340046

研究課題名（和文）超低温サブミリ波・X線アレイ検出器の革新的な信号読み出し方法の研究

研究課題名（英文）Study of innovative readout system for cryogenic sub-mm and X-ray detectors

研究代表者

満田和久 (KAZUHISA MITSUDA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：80183961

研究成果の概要（和文）：

次世代のサブミリ波や X 線の高感度/高エネルギー分解能撮像素子として期待される非熱消費型マイクロカロリメータ/ボロメータアレイの読み出しシステムの研究を行った。非熱消費型マイクロカロリメータ/ボロメータとして誘電体型マイクロカロリメータ(DMC)を念頭においた。DMC を搭載した Co-planer waveguide (CPW) の 1GHz 周波数帯の透過特性に、DMC による dip ができることを実証した。CPW 上の多数の DMC 画素の信号を同時に読み出すための FPGA を用いた信号処理を開発した。X 線に対しては、FFT の速度が性能を律速することがわかった。

研究成果の概要（英文）：

Signal readout system for the next generation, imaging high-sensitivity/high-energy-resolution, non-heat dissipative microcalorimeters /bolometers for sub mm waves and X-rays is studied with an emphasis on dielectric microcalorimeters (DMC). A co-planer waveguide (CPW) system on which a DMC pixel was mounted was confirmed to produce a dip in the transmittance at 0.3K in a GHz frequency range. A multi-pixel readout electronics for the DMC/CPW was studied. A key performance of the system was determined by the speed of FFT for X-ray detectors.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4600000	1380000	5980000
2010 年度	5800000	1740000	7540000
2011 年度	2200000	660000	2860000
2012 年度	1800000	540000	2340000
年度			
総計	14400000	4320000	18720000

研究分野：観測的宇宙物理学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：X線分光検出器、マイクロカロリメータ、ボロメータ、周波数多重波、マイクロ波、非熱消費型カロリメータ・ボロメータ

1. 研究開始当初の背景

超低温を用いた超低雑音検出器によって、X 線では超高エネルギー分解能の分光が、ミリ波やサブミリ波では超高感度の宇宙観測が

実現しつつある。超伝導遷移端を温度計に用いた TES マイクロカロリメータに対して超低温で信号を多重化する技術の開発がすすんでおり、これによって撮像能力は現在の数

10 数画素から数 1000 画素に拡大すると考えられる。さらに画素数を増やし、たとえばメガピクセルを目指すには、信号多重化以外に TES 自身の発熱も問題となる。このレベルに至るには 非発熱消費型のマイクロカロリメータを用いた革新的な読み出し方法を用いたシステムが必要となる。

2. 研究の目的

本研究は、TES の次の世代の超高感度超低温検出器をめざして、非発熱型検出器、特に誘電体型マイクロカロリメータの大規模アレイにマイクロ波を用いた読み出し方式を組み合わせた革新的な検出器技術の基本的な要素を実証することを目的とする。具体的には、Co-Planer Waveguide (CPW) に、誘電体カロリメータを含む共振回路のスタブをとりつけ、カロリメータの温度変化をその共振周波数の変化としてとりだそうとするものである。搬送波の周波数を GHz 帯に設定することによって原理的にはキロ画素オーダーの素子からの信号の多重化が可能である。

3. 研究の方法

二つの主要技術要素について研究をすすめた。すなわち、(1) 誘電体マイクロカロリメータを動作させる 100mK の超低温で動作する CPW、(2)CPW からの信号を処理して、X 線パルスを再生するデータ処理システム、である。

4. 研究成果

(1) まず、CPW と、それへの誘電体素子の取り付け方の研究を電磁界シミュレーションにより行った。その結果に基づいて、CPW を製作し、さらに誘電体素子に電極をパターンニングし、CPW に取り付けた。この素子を室温から 0.3K まで冷却し、その特性を測定した。以上の結果に基づいて、電磁界シミュレーションをやり直し、CPW および誘電体素子に改良を加えた。図 1 に 0.3K ステージに誘電体素子付きの CPW が設置されたヘリウム 3 凍機の写真を、図 2 にこの素子の 0.3K における透過率を搬送波の周波数の関数として示した。

(2) 本研究では、まず市販の測定装置を用いて 1 素子分信号を読み出す試験装置のセットアップを作成し、その性能を検証した。図 3 にそのセットアップを示す。

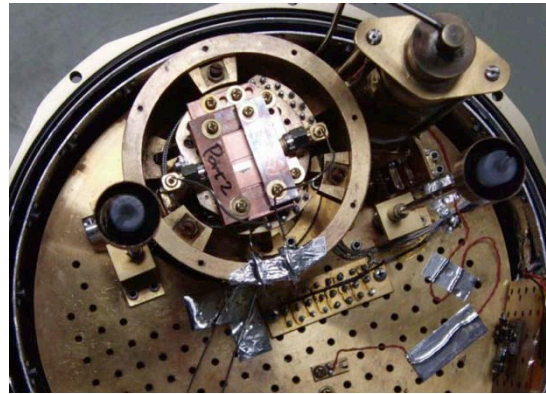


図 1. 誘電体素子をマウントした CPW が 0.3K ステージに設置されたヘリウム 3 冷凍機。

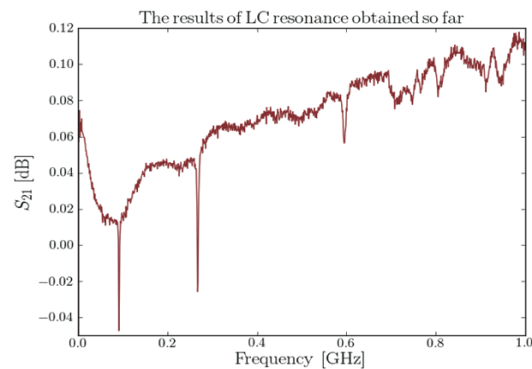


図 2. 誘電体素子をマウントした CPW の透過特性。透過率を周波数の関数としてプロットした。誘電体素子による搬送波の引き込みによるディップが 3 つの周波数で見えている。透過率が 1 を超えているのは、室温で透過率を較正しているため。

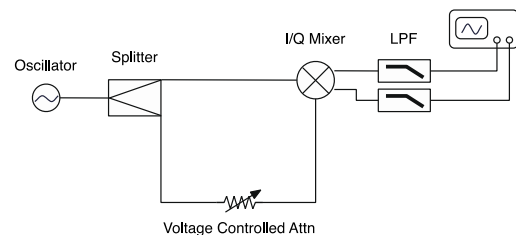


図 3. 市販の装置による 1 素子信号読み出し装置。装置の性能評価のため、外部電圧制御のアッテネーターに X 線信号をシミュレートする電圧を供給し、検出器のシミュレーターとした。

この装置は、誘電体マイクロカロリメータの特性評価には有効であるが、多数の画素から

の信号を読み出すことはできない。そこで、多数素子の読み出し系を設計し、その主要部分を製作しその性能を評価した。図4にその読み出し系のブロックダイアグラムを示す。

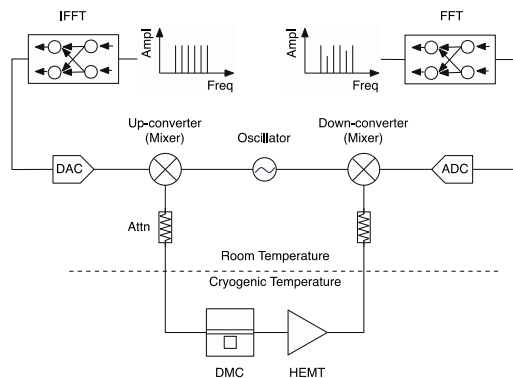


図4. 多数素子読み出し装置のブロックダイアグラム。パルス信号を読み出すX線検出器の場合には、FFTの処理速度が性能律速となる。FFTアルゴリズムの工夫が必要である。

この装置に必要な多数の搬送波を生成する部分(図の左上)と信号復調部分(図の右上)はFPGAを用いたデジタルシステムで実現している。多数の信号を一度に取り出すために信号復調にはFFTを用いている。この回路の考え方は、Microwave Kinetic Inductance Device (MKID)の復調回路と同じである。DAC/ADCの量子化雑音、信号処理速度などを考慮し、この回路の性能を調べた。その結果、ミリ波・サブミリ波については、速い時間分解能を要求されない限り、この方式に必要な性能を実現できることがわかった。これに対して、X線の場合はパルス波形を再生し、それを最適デジタルフィルタ処理する必要がある。このため、ミリ波・サブミリ波に比べて桁違いに高速にFFT処理する必要があり、この要求は満たせていない。特定の複数の周波数成分の強度(および位相)がわかればよいことに注目した高速化の可能性を検討した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

"Development of Dielectric X-Ray Microcalorimeter", Sekiya, N. Yamasaki,

NY, Mitsuda, K. Kawasaki, S. Takei, Y. Yoshitake, H. Sakai, K. Sato, K. Maehata, K. Takashima, H., JOURNAL OF LOW TEMPERATURE PHYSICS, 167, 435-441, (2012)

[学会発表] (計5件)

"Development of dielectric X-ray microcalorimeter", N. Sekiya, N.Y. Yamasaki, K. Mitsuda, S. Kawasaki, Y. Takei, K. Sakai, K. Sato, K. Maehata and H. Takashima, Low Temperature Detector-14, Heidelberg, Germany (2011)

"量子強誘電体 STO を用いたキャパシタンス温度計の開発", 関谷 典央, 山崎 典子, 満田 和久, 竹井 洋, 吉武 宏, 酒井 和広, 高島 浩, 日本低温工学・超電導学会, つくば (2011)

"誘電体マイクロカーメータ用 SrTiO₃ の極低温下での基本物性値測定", 高橋祐貴, 中橋達也, 石橋健二, 前畑京介, 梅野高裕, 和田信之, 坂部行雄, 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 関谷典央, 日本応用物理学会秋季年会, 山形 (2011)

"誘電体X線マイクロカロリメータの開発", 関谷典央, 山崎典子, 満田和久, 川崎繁男, 竹井洋, 吉武宏, 酒井和宏, 前畑京介, 佐藤浩介, 高島浩, 日本応用物理学会秋季年会, 山形 (2011)

"Development of dielectric X-ray microcalorimeter", N. Sekiya, N.Y. Yamasaki, K. Mitsuda, S. Kawasaki, Y. Takei, K. Sakai, K. Sato, K. Maehata and H. Takashima, ICEC24-ICMC2012, Fukuoka (2012)

[その他]

ホームページ等

<http://www.astro.isas.jaxa.jp/~mitsuda/labo/index.php?Calorimeter>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

満田和久 (KAZUHISA MITSUDA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：80183961

(2) 研究分担者

川崎繁男 (SHIGERU KAWASAKI)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・教授
研究者番号：400266367

竹井洋 (YOH TAKEI)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・助教
研究者番号：30509857

(3) 連携研究者

前畑 京介 (KYOSUKE MAEHATA)
九州大学・工学系研究科・准教授
研究者番号：30190317

羽澄 昌史 (MASASHI HAZUMI)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授
研究者番号：20263197

山崎典子 (NORIKO Y YAMASAKI)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・准教授
研究者番号：20254146