誘電体X線マイクロカロリメータの開発

P7-006

25% 38%

45%

60%

10

温度 [K]

H. Takashima & M. Itoh, 2006, APL

100

関谷典央、山崎典子、川崎繁男、満田和久、竹井洋、吉武宏、酒井和広(ISAS/JAXA)、前畑京介 (九州大学)、高島浩 (産総研) $f_5 =$ 我々は、宇宙X線の分光観測のために、X線光子1個1個のエネルギーを熱に変えて微小な温度上昇として測定するマイクロカロリメータを開発している。極低温で高感度の温 度計を用いることにより高いエネルギー分解能が達成される。ここで我々が提案する「誘電体マイクロカロリメータ」は、誘電体の静電容量 (誘電率) の温度依存性を温度計と して用いるものである。誘電体を高周波のLC共振回路の一部として組み込むことで誘電率を読み出す。この方法は、高いエネルギー分解能と多素子アレイの形成による大きな 検出器面積が期待される。我々は現在、極低温での誘電率が高く、温度変化が大きい誘電体「チタン酸ストロンチウム (SrTiO3)」を温度計として用いることを想定じ、 や回路の製作や極低温での特性を調べる実験、高周波回路用シミュレータによる設計を進めている。

1. 宇宙X線の分光観測

X線は宇宙における高温、高エネルギー現象をとらえるのに最も適した電磁波である。例えば、銀河団に付随 する高温ガスはX線ではっきりと観測される (図I)。そのX線を分光観測すると、重元素の輝線や吸収端が見ら

れ(図2)、そこからは重元素の量や物理状態等 を知ることができる。また、輝線のエネル ギーシフトや幅は、ガスの運動を知る手がか りとなる。 宇宙X線の分光観測は、宇宙の化 学・力学的進化を知るための重要な手段の一 つである。

次世代のX線分光検出器では、5.9 keVのX線に 対して2 eV (FWHM) 以下のエネルギー分解能 を実現したい。これは、銀河団に付随する高 温ガスの内部運動をとらえたり、輝線が持つ 微細構造を分離して精密な高温ガスの診断を するために十分なエネルギー分解能である。 また、CCD検出器並のメガピクセル化するこ とで、精細なX線画像を撮像できるようにし たい。



2. マイクロカロリメータ

3. 誘電体X線マイクロカロリメータ

今回、我々が提案するのは、誘電体の静電容量(誘電率)の温度依存性を高感度の温度計とし て用いる「誘電体マイクロカロリメータ」である。我々は、図4のようにインダクタ (L) と誘 電体マイクロカロリメータの素子 (C) を組み合わせた高周波 (GHz帯)のLC共振回路を作り、 , 共振周波数の変化から静電容量の変化 (⇒ 温度上昇量 ⇒ X線エネルギー) を測定する方法を 検討している。





I本の電流供給線に共振周波数が異なる多数のLCを並列接続し、交流電流を供給することで、 図5のような透過特性が現れる。X線が入射すると共振周波数がシフトし、X線のエネルギー と入射した場所を特定することができる (図4の3番目のLC共振回路と図5の3番目のディップが 対応しており、X線の入射によってディップがシフトしている)。

温度計として用いる誘電体は、極低温での誘電率が高く、急峻な温度変化をする物質が望ま しい。我々は、そのような誘電体の候補としてチタン酸ストロンチウム (SrTiO3) を考えてい る。この物質は、酸素の同位体置換によって誘電率の温度変化の振る舞いが変化する(図6)。

4. 誘電体SrTiO3の極低温での誘電率測定

チタン酸ストロンチウム (SrTiO3) は低温で高い誘電率を持つことが知 られているが、T<1Kの極低温での誘電率は測定されていなかった。 我々は断熱消磁冷凍機を用い、50 mKという極低温までの誘電体の静 電容量を測定した。4端子法を用いることで冷凍機内の長い配線の寄 生インピーダンスの影響を抑え、極低温における誘電率の高精度の測 定に初めて成功した。これまでに測定した2素子(図7)は、誘電率の 変化のピークが T > 2 Kに存在し、100 mKで使用するカロリメータ には不向きであった。

誘電体は半導体、超伝導体、常磁性体等に比べて材料の選択の幅が広 く、原子番号の大きい元素を含ませることでX線吸収効率を高めた り、カロリメータの素子として適した材料を作り出すこともできる。 今後は、同位体比率の異なるSrTiO3や他の誘電体の測定を行い、カロ リメータに用いるのに最適な誘電体を見つけていく。



5. LC共振回路の設計

LC共振回路の設計は電磁界シミュレータを用いて行っている。電流供給線、および共振回路のLに相当するライ ンは I K以下で超伝導になるアルミニウムを用いる。C はSrTiO₃などの誘電体を用いる。このLC共振回路の構造、 抵抗成分、および電流供給線とLC共振回路のカップリングの構造により、共振周波数、共振の深さ、幅が決ま る。高いエネルギー分解能と多素子化のためには、シミュレーションでは様々な形状を試し、最適なデザインを 探っている。現在シミュレーションで得られている設計よりも、狭く深いディップが必要である。我々は現在、所 望の特性が得られるように回路デザイン (電流供給線とLC共振回路の接続部やインダクタの形状等)の改良を行っ ている。

