

X線マイクロカロリメータを使ったプラズマ放射の分光計測技術

Measurement technology of plasma emission spectroscopy with X-ray microcalorimeters

石崎 欣尚 [1]

Yoshitaka Ishisaki[1]

[1] 首都大理工

[1] Department of Physics, Tokyo Metropolitan University

X線マイクロカロリメータは個々のX線光子が光電吸収された時のエネルギーを温度上昇として測定する検出器であり、入射X線のエネルギーの決定精度は、理想的には吸収体がもつフォノン数の揺らぎで決定される。フォノン1つが持つエネルギーは kT であることから、 C を吸収体の熱容量として $E = C \Delta T$ とエネルギー分解能は計算される。従って、吸収体のサイズを 1 mm 以下に小さくし、温度を 0.1 K 以下に冷やすことで、 10 keV 以下のX線領域で数 eV 程度のエネルギー分解能を実現可能である。これは、シリコン半導体を用いた場合に比べて20倍以上優れた値であり、プラズマに含まれる個々の元素の電離状態の異なる輝線を分解することや、ドップラーシフトを見ることで数 100 km 程度の運動を検出することが可能となってくる。特に宇宙X線観測においては銀河団や超新星残骸などの広がった天体の観測が求められること、X線フォトンの数がせいぜい数 10 カウント毎秒と極めて限られていることから、回折光子など波長分散型の分光器では十分な性能を得ることが出来ないため、マイクロカロリメータが有望なX線分光検出器として世界で開発が進められている。

例として、2005年7月に打ち上げられた日本のX線天文衛星「すざく」にはNASAゴダード研究所とJAXA宇宙科学研究本部が中心となって開発されたXRS検出器が搭載され、 $640\text{ }\mu\text{ m}$ 角の吸収体を32個のアレイとしたマイクロカロリメータが用いられた。不具合により軌道上で液体ヘリウムが1か月(設計寿命は3年)で消失してしまったために天体観測を行なうことは出来なかったが、実際に軌道上で検出器を 0.06 K まで冷却、 Fe55 の較正線源(5.9 keV)に対するエネルギー分解能として 7 eV が確認された。今後も、日/米/欧の次世代のX線天文衛星にマイクロカロリメータ検出器の搭載が計画されている。

また、マイクロカロリメータは吸収体を適宜、選択することでX線や粒子計測の領域でも優れた検出器となりうることや、超伝導遷移端温度計(TES: Transition-Edge Sensor)や磁気温度計(Magnetic Calorimeter)などの感度の良い温度計を用いることでより分解能を向上させたり、パルスの時定数を短縮して応答を速くしたり出来ることが知られており、地上計測の分野においても開発が進んでいる。世界的には 110 keV のX線に対して 40 eV 、 6 keV のX線に対しては 2.4 eV の分解能が実現されており、我々の研究グループでもそれに近い性能が実験室で得られている。特に我々は、検出器のテストをかねて、核融合プラズマ試験装置からのプラズマ放射の測定や、放射光を用いて超高压下に置かれた結晶のX線構造解析などの実験も行なっており、それらについても簡単に紹介する。