

超伝導転移端センサが切り拓く革新的原子力基盤計測技術

課題目標

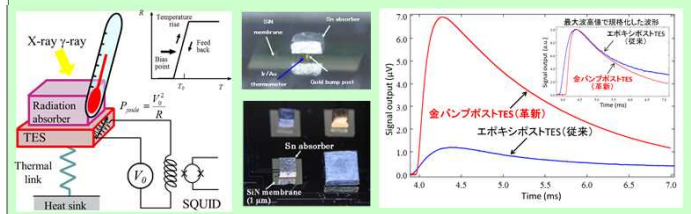
核物質から発生する硬X線やガンマ線を極めて優れた分光特性を有する**超伝導転移端センサ(TES : Transition Edge Sensor)**により分析し、プルトニウムおよびマイナーアクチニド全元素を精密に弁別、分析しうる革新的な核種同定分析技術を確立する。本研究成果は核燃料・廃棄物の精密検査や次世代保障措置への利用が期待される。

研究計画内容

硬X線ガンマ線検出用TESアレイ検出器の開発

概要: TESは放射線入射による温度上昇を超伝導転移領域における急峻な温度抵抗変化を用いた高感度な温度計により検出する超高性能スペクトロメータである。本研究では、高いガンマ線吸収効率を有するスズやタンタル等の重金属バルク放射線吸収体を搭載したTESにより高純度Ge半導体検出器を大きく超えるガンマ線超精密分光を実現する。

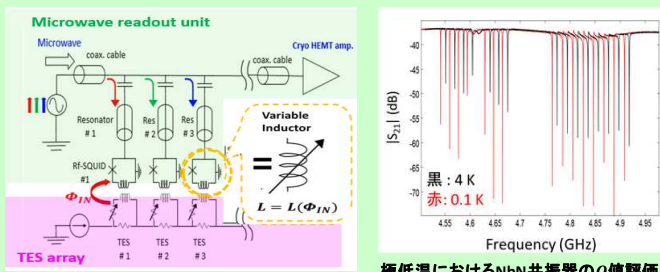
特筆すべき成果: 熱伝導率の高い金バンプポストを超伝導温度センサ薄膜上に構築し、その上にスズ吸収体を搭載する画期的な素子構造を考案して、高い信号波高値と速い応答時定数(立下り)を得ることに成功すると共に、100keVのガンマ線に対して既存高純度Ge半導体検出器より5倍程度優れた値に相当する84eV(FWHM)のエネルギー分解能を実現した。またタンタル吸収体を用いた素子で662keVのガンマ線に対して世界最高の500eV(FWHM)以上のエネルギー分解能を達成した。さらに核種識別能に優れたTESの計測時間短縮を目指し、8ピクセルのアレイ化にもすでに成功している。



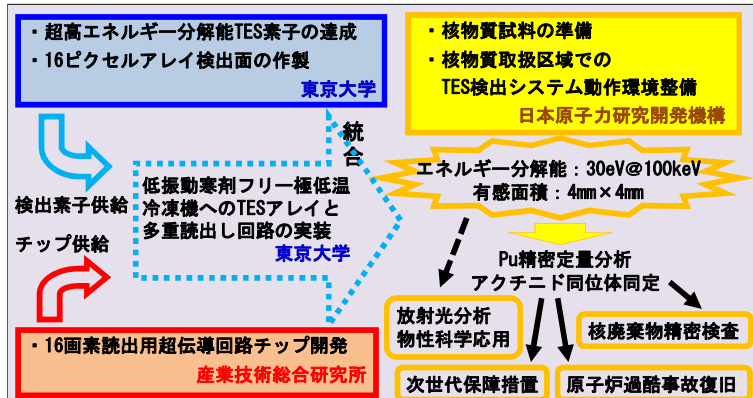
検出器アレイ多重読出回路の開発

概要: TESピクセルをアレイ状に配置した広い有感領域を有する検出器を動作させるには、配線数を抑制しつつ、各画素からの信号を劣化させずに、多くの画素からの信号を読み出し得るTESアレイ多重読出回路の構築が必要不可欠となる。本研究では多重化数増大に伴い信号対雑音比が劣化せず、従来法に比べ原理的に2-3桁多くの画素信号を多重化可能な、マイクロ波帯多重化方式の読出し回路開発を進めている。

特筆すべき成果: 各画素固有の共振周波数 f_R を持つ N 個の共振器群薄膜集積回路が、1本の読出线に接続され、TES信号強度により f_R が変調される機構が備わる回路を開発した。本研究では独自の電極材料NbN(窒化ニオブ)を共振器に採用し、TESアレイの低ノイズ読み出しを可能にする極めて高い Q 値 10^5 を達成した。



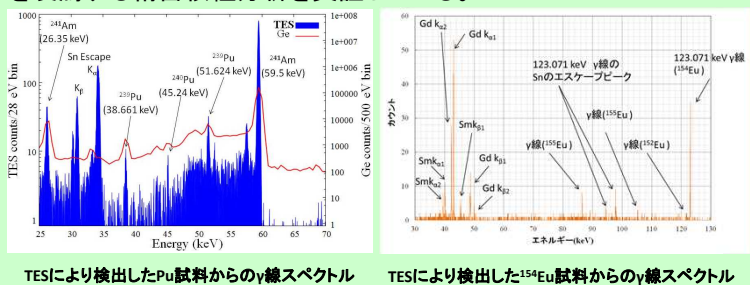
研究実施体制



核燃料物質等を用いた測定試験

概要: 左記にて開発されたTES検出システムを放射性物質等取扱い施設の管理区域内に持ち込み、放射性物質や核燃料物質から放射されるガンマ線や硬X線のスペクトルを精密に測定してTESによる精密核種同定分析を実証する。

特筆すべき成果: スズ吸収体を搭載したTESを組み込んだ寒剤フリー(液体ヘリウム及び液体窒素不要)の希釈冷凍機システムを日本原子力研究開発機構大洗研究開発センターの施設内に搬入して、Pu試料分析や世界で初めてとなるTESを用いた核分裂生成物(FP)の元素、核種の同定を実現した。さらに、照射済み核燃料物質の核種同定に成功し、既存Ge半導体検出器を凌駕する精密核種分析を実証している。



TESにより検出したPu試料からの γ 線スペクトル

TESにより検出した ^{154}Eu 試料からの γ 線スペクトル

事業実施計画

	2014	2015	2016
硬X線ガンマ線検出用TESアレイ検出器の開発	高エネルギー分解能化	4ピクセルアレイ作製	16ピクセルアレイ作製
検出器アレイ多重読出回路の開発	低雑音、広ダイナミックレンジ化	クロストーク抑制、高速化	多画素読み出し実証
核燃料物質等を用いた測定試験	放射線源を用いた計測試験	照射燃料を用いた計測試験	照射燃料を用いた精密計測実証