

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2009

課題番号：18206098

研究課題名（和文）プルトニウム体外計測のための超ウラン元素L X線の高精度分光分析

研究課題名（英文）High precision spectroscopy of LX-rays emitted from transuranium elements for Pu in vivo measurements

研究代表者

前畑 京介 (MAEHATA KEISUKE)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30190317

研究分野：放射線物理・計測学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射線・X線、放射線計測、超伝導素子

1. 研究計画の概要

Pu 同位体が放射する LX 線を作業員の体外から計測することで、Pu 吸入摂取量を推定し内部被曝線量を評価するためには、Pu などの超ウラン元素の LX 線放射率を高い精度で評価する必要がある。そこで、エネルギーが 10keV から 20keV の LX 線光子を半値幅 50eV 以下のエネルギー分解能で計測できる TES 型マイクロカロリメーターの設計・作製を行うとともに、液体ヘリウムを使わず簡便な操作で TES 型マイクロカロリメーターの高性能動作を可能とする計測システムを構築する。

本研究で構築した TES 型マイクロカロリメーターシステムを用いて、 ^{241}Am 線源や Pu 同位体から放射される LX 線を半値幅 50eV 以下のエネルギー分解能で分光分析を行い、超ウラン元素の LX 線放射率を高い信頼性で評価できることを実証する。

2. 研究の進捗状況

(1) TES型マイクロカロリメーター素子の設計・作製

Ti 上に Au を積層した 2 層構造の TES 型マイクロカロリメーターを設計・作製した。設計仕様として、動作温度 200mK、エネルギーが 10keV から 20keV の X 線光子について半値幅 50eV 以下のエネルギー分解能、20keV の X 線光子の吸収効率を 50%、および毎秒 100 カウント以上の計数率とした。この条件を満たす吸収体として機能する Au 層の厚さは 5 μm となった。

(2) 無冷媒希釈冷凍機システムの開発

GM クーラー直結型無冷媒希釈冷凍機本体および循環ガスハンドリングシステムを

^3He - ^4He 希釈冷凍ユニット、GM クーラー ^4He ガス循環ユニットおよび ^3He ガス循環ユニットに分離した構造に改造した。この改造により、希釈冷凍ユニットへ伝播する GM 冷凍機やガス循環ポンプ等が発生する機械振動を極力抑制することが可能となった。また、TES 型マイクロカロリメーターの高性能動作のために、100mK に設定された動作温度を 50 μK 以内の温度変動で保持するための温度制御システムを構築した。

(3) ^{241}Am 線源の LX 線精密測定

十分な磁気遮蔽を施し、希釈冷凍ユニットの混合器の底板に取り付けたコールドステージ上に TES チップと SQUID 増幅器チップを隣接して取り付けることで、高い信号対雑音比を得た。

冷凍機外部から種々の超ウラン元素から放射される LX 線を TES 型マイクロカロリメーターに照射することが可能となるように、無冷媒希釈冷凍機の混合器部に特殊な入射窓を取り付けた。冷凍機外部に ^{241}Am 線源を置き、線源から放射される LX 線を TES 型マイクロカロリメーターで測定した。フィルター処理がなされていない検出信号パルスの波高分布において、エネルギー分解能が半値幅で 140eV であった。また、検出信号パルスの減衰時定数は約 400 μs であり、毎秒 100 カウント以上の計数率に対応できることを確認した。

希釈冷凍機の循環ガスラインに、水素ガスゲッターシステムを挿入することにより、冷凍機の長時間安定運転が可能となり、 ^{241}Am 線源から放射される LX 線を TES 型マイクロカロリメーターにより 30 日間の長時間にわたり安定に連続測定した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

理由：試作した LX 線検出用 TES 型マイクロカロリメータを無冷媒希釈冷凍機により冷却し、 ^{241}Am 線源から放射される LX 線を半値幅 140eV のエネルギー分解能で計測した。また、毎秒 100 カウント以上の計数率に対応できることを確認した。

4. 今後の研究の推進方策

(1) ^{241}Am 線源の LX 線精密測定

最適フィルター処理システムを構築し、半値幅 50eV のエネルギー分解能で計測する。

(2) ^{241}Am 線源の LX 線放射率評価

測定で得られた ^{241}Am 線源の LX 線スペクトルを解析し、LX 線放射率を評価する。

(3) Pu 同位体から放射される LX 線の密測定

放射能強度が弱く比較的取り扱いが容易な Pu 同位体密封標準線源を使って、Pu 同位体から放射される LX 線の密測定を実施する。

5. 代表的な研究成果

(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 4 件)

- ① Y. Yamanaka, T. Ito, T. Umeno, Y. Suzuki, S. Yoshida, Y. Kamioka, and K. Maehata, Development of GM cryocooler separate type liquid-helium-free ^3He - ^4He dilution refrigerator system, Journal of Physics: Conference Series, 150, 012055, 2009, 査読無
- ② T. Umeno, Y. Kamioka, S. Yoshida, K. Maehata, K. Ishibashi, K. Takasaki and K. Tanaka, Performance of compact liquid helium free ^3He - ^4He dilution refrigerator directly coupled with GM cooler in TES microcalorimeter operation, Journal of Physics: Conference Series, 150, 012051, 2009, 査読無
- ③ Keisuke Maehata, Katsunori Ueno, Keisuke Nakamura, Takashi Yasumune, Hidehiko Arima, Kenji Ishibashi, Takahiro Umeno, Koji Takasaki, Keiichi Tanaka, Development of TES microcalorimeter for LX-ray spectroscopic analysis of transuranium elements, Radiation Detectors and Their Uses, High Energy Accelerator Research Organization KEK Proceedings, 2008-14, 53-62, 2009, 査読有り
- ④ Katsuhiko Ueno, Akihiro Yamaguchi,

Keisuke Nakamura, Keisuke Maehata, Kenji Ishibashi, Takahiro Umeno, Keiichi Tanaka, Koji Takasaki, Development of TES microcalorimeter for high precision spectroscopy of LX-ray photons emitted from transuranium elements, Journal of nuclear science and technology, supplement 5, p. 522-525, 2008, 査読有り

[学会発表] (計 14 件)

- ① 前畑京介、中村圭佑、安宗貴志、荻 広史、前田 亮、石橋健二、梅野高裕、高崎浩司、田中啓一、超ウラン元素 LX 線検出用 TES 型マイクロカロリメータの開発、第 56 回応用物理学関係連合講演会、2009 年 4 月 1 日、筑波大学
- ② 荻広史、中村圭佑、前田 亮、前畑京介、石橋健二、高崎浩司、田中啓一、梅野高裕、TES 型マイクロカロリメータを用いた ^{241}Am の LX 線の検出(4)、日本原子力学会 2009 年春の年会、2009 年 3 月 24 日、東京工業大学
- ③ 中村圭佑、荻広史、前畑京介、石橋健二、高崎浩司、田中啓一、梅野高裕、TES 型マイクロカロリメータを用いた ^{241}Am の LX 線の検出(3)、日本原子力学会 2008 年秋の大会、2008 年 9 月 4 日、高知工科大学
- ④ T. Umeno, Y. Kamioka, S. Yoshida, K. Maehata, K. Ishibashi, K. Takasaki and K. Tanaka, Performance of compact liquid helium free ^3He - ^4He dilution refrigerator directly coupled with GM cooler in TES microcalorimeter operation, 25th International Conference on Low Temperature Physics, 2008 年 8 月 7 日, RAI Conference center, Amsterdam, The Netherlands
- ⑤ 中村圭佑、上野克宜、前畑京介、石橋健二、梅野高裕、田中啓一、高崎浩司、TES 型マイクロカロリメータを用いた ^{241}Am の LX 線の検出(2)、日本原子力学会 2008 年春の年会、2008 年 3 月 28 日、大阪大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし