

平成 21 年 5 月 26 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19740169
 研究課題名(和文) 超重核の α - γ 核分光研究を目的とした新規Si-CdTe検出器の開発
 研究課題名(英文) Development of Si-CdTe detector array for study on alpha-gamma spectroscopy of superheavy nuclide
 研究代表者
 加治大哉(KAJI DAIYA)
 独立行政法人理化学研究所・森田超重元素研究室・協力研究員
 研究者番号：00391912

研究成果の概要：

超重核の α - γ 核分光研究には α 線検出のためのSi検出器と γ 線検出のためのGe検出器を組み合わせたSi-Ge検出器アレイが用いられているが、本研究では γ 線検出器としてCdTe検出器を適用し、新規にSi-CdTe検出器アレイを製作した。CdTe検出器はGe検出器と比較してエネルギー分解能の面で多少劣るが、検出効率の高さと常温で使用できる利点がある。これにより、超重核の α - γ 線連続測定が可能になった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,700,000	0	2,700,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	150,000	3,350,000

研究分野：実験核物理

科研費の分科・細目：物理学，素粒子・原子核・宇宙線・宇宙核物理

キーワード：超重元素，超重核，Si検出器，CdTe検出器，核分光，GARIS，アルファ線，ガンマ線

1. 研究開始当初の背景

本課題研究は、 ^{232}Th 、 ^{238}U 等のアクチノイド標的を用いた重イオン融合反応(ホットフュージョン)によって生成する超重核(超アクチノイド核種)の α - γ 核分光研究を目的とした新規Si-CdTe検出器アレイの開発を行い、それを用いて核分光実験を行うことを目的とする。

これまでに、最終学校から継続して新しい超重核の発見を目的とした研究に取り組んでいる。その結果として、コールドフュージ

ョン反応によって合成される超重核 ^{265}Hs (10原子)、 ^{271}Ds (14原子)、 ^{272}Rg (14原子)、 $^{277}\text{112}$ (2原子)、 $^{278}\text{113}$ (2原子)の確認に成功した。特に、2003～2006年にかけて取り組んだ新元素(113番元素)の発見および追試の成功は、熾烈な先陣争いを繰り広げている諸外国研究グループ(ドイツ・ロシア・米国)に抜きに出た研究成果といえる。本研究では、この経験を生かし、新しい超重核を発見するという段階から一歩踏み込んで超重核の核構造特性を深く理解するという第二段階の研

究へ進展させる。これまでに報告されている超重核の大半は新同位体発見を目的としている場合が多いため、観測されているイベント数は非常に少ない(最先端領域では、上記のように数個オーダー)。本研究では、統計量を1~3桁あげて超重核の核構造特性の詳細に迫る。

超重核の多くは α 壊変し、核種同定のほとんどが α 壊変を観測することで行われている。そのため、従来の観測方法では、 α 壊変の半減期・ α 線エネルギー・分岐比・抑止係数といった物理量しか得ることができない。 α 壊変や自発核分裂の半減期だけでも核構造に関する情報(例えば、 $N=162$ の変形核魔法数の存在)を得ることができるが、より詳細な核構造に関する情報を得るためには原子質量・励起準位のエネルギー・スピン・パリティ・陽子中性子の軌道配位など…の物理量を決定する必要がある。これらの物理量は、原理的に α 線エネルギーや微細構造、抑止係数から求めることができるが、現実的には相当の統計量がない限り α 線の測定のみから上記の物理量を定めることは困難なことが多い。例えば、原子質量という物理量は α 壊変の Q_α 値から求めることができる。遇・遇核の場合、観測される α 線は娘核の基底状態に遷移するものが主であり、観測された α 線エネルギーに反跳エネルギーの補正を加えることで直接 Q_α 値を求めることができる。しかし、奇核や奇・奇核の場合、通常観測される最も強度の大きい α 線は娘核の励起準位に遷移するものである。超アクチノイド領域で α 線が観測されている遇・遇核は非常に少なく(Rfで1核種、Sgで2核種、Hsで1核種、Dsで1核種)、研究対象となる超重核の大半は奇核や奇・奇核である。したがって、微細構造の観測や α 壊変後の γ 線あるいは内部転換電子の観測により励起準位のエネルギーを決めない限り原子質量を決定することはできない。

従来、超重核の α - γ 核分光研究には α 線検出のためのSi検出器と γ 線検出のためのGe検出器を組み合わせたSi-Ge検出器アレイが用いられている。しかし、本研究では γ 線検出器としてCdTe検出器を適用し、Si-CdTe検出器アレイの使用を検討する。CdTe検出器はGe検出器と比較してエネルギー分解能の面で多少劣るが、検出効率の高さと常温で使用できる利点に着目している。近年の技術革新により大面積($1 \times 1 \text{cm}^2 \sim 2 \times 2 \text{cm}^2$)かつ高性能の両方を合わせもつCdTe検出器が市販されるようになったことから、2~4枚程度の検出器アレイを組む事によりGe検出器と同程度の幾何学的効率が実現可能となる。Ge検出器と比べて検出器を構成するCdやTeの原子番号が大いいため、高い検出効率も期待できる。特に、研究対象となる超重核から放出さ

れる γ 線エネルギー領域0~200keVにおいて、80%以上の高効率を期待できる。この利点は、希少イベントを取り扱う本研究に向いている。超重核の核分光研究用としてのCdTe検出器の導入は世界初の試みで、独創性がある。特性X線検出による原子番号同定にも着目しており、新元素探索への適用も検討できる。

具体的には、新規開発するSi-CdTe検出器アレイを用いて、変形核魔法数 $N=162$ 近傍である ^{269}Hs 、 ^{265}Sg およびその娘核 ^{261}Rf 、 ^{257}No 、 ^{253}Fm の α 壊変に伴う γ 線・X線・内部転換電子を十分な統計精度で測定し、 γ 線多重極度から娘核の励起準位のスピン・パリティを決定する。さらに、 γ 遷移の抑止係数を考慮して親核の基底状態のスピン・パリティおよび陽子中性子の軌道配位数を同定し、Nilsson軌道のエネルギー間隔や順序から原子核の変形殻構造を明らかにする。これらの超重核は、ホットフュージョン反応[例えば、 $^{232}\text{Th}(^{40}\text{Ar}, \alpha, 3n)^{265}\text{Sg}$ 、 $^{232}\text{Th}(^{40}\text{Ar}, 3n)^{269}\text{Hs}$ 、 $^{238}\text{U}(^{30}\text{Si}, 3n)^{265}\text{Sg}$ 、 $^{238}\text{U}(^{34}\text{S}, 3n)^{269}\text{Hs}$]によって合成を行う。研究対象とするこれらの核種は、以前に観測した $^{277}\text{112}$ [$^{208}\text{Pb}(^{70}\text{Zn}, n)^{277}\text{112}$ 反応により合成]の α 壊変連鎖上の核種であり、その原子質量や基底状態の配位といった情報は $^{277}\text{112}$ や ^{273}Ds の核構造を明らかにする上で基礎となる重要なデータとなる。特に、 $^{277}\text{112}$ の α 壊変連鎖上には高エネルギーアイソマーが存在するとも言われており、この壊変連鎖上の原子核の構造を軽い核から順々に調べ確立していくことは非常に重要である。本研究課題の研究背景として、以前観測した $^{277}\text{112}$ に起因する α 壊変連鎖の核構造の解明が挙げられる。また、申請者がこれまでに成功を収めてきたコールドフュージョンによる超重元素探索の路線から、ホットフュージョンという異なる反応系を展開していく事も意義深い。

変形核魔法数 $N=162$ の影響を受けて、 ^{265}Sg および ^{269}Hs は比較的長い半減期(7.4秒、20.9秒)をもつ。そのため、超重元素の化学的性質を調べる事を目的とした研究分野(核・放射化学)からも大きな注目を集めていることも特記しておく。原子番号が大きくなるにつれて、大きな原子核電荷と軌道電子間に働く強い相対論効果が顕著になることが理論的に予測されている。本研究を推進することにより、単一原子化学反応を用いた極限領域における原子の電子状態、特に相対論効果が化学結合に与える影響を実験的に検証することを目的とした研究への展開が可能となる。また、原子核壊変を利用した高感度微量元素分析法の開発、単一原子化学反応論ならびに相対論的量子化学計算法の検証など他分野への貢献度、波及効果も期待される。

2. 研究の目的

「コールドフュージョン反応を用いた113番元素探索」で成功を収めた経験を生かし、新しい超重核を発見するという段階から一歩踏み込んで超重核の核構造特性を深く理解するという第二段階の研究へ進展させる。これまでに報告されている超重核の大半は新同位体発見を目的としている場合が多いため、観測されているイベント数は非常に少ない(最先端領域では、数個オーダー)。本研究では、統計量を1~3桁あげて超重核の核構造特性の詳細に迫る。超重核の α - γ 核分光研究のために新規にSi-CdTe検出器アレイ(α 線検出のためのSi検出器と γ 線検出のためのCdTe検出器を組み合わせた検出器アレイ)を開発し、この検出器アレイを用いて変形核魔法数 $N=162$ 近傍である ^{265}Sg およびその娘核 ^{261}Rf , ^{257}No , ^{253}Fm の α 壊変に伴う γ 線・X線・内部転換電子を十分な統計精度で測定する。 γ 線多重極度から娘核の励起準位のスピン・パリティを決定し、さらに γ 遷移の抑止係数を考慮して親核の基底状態のスピン・パリティおよび陽子中性子の軌道配位数を同定し、Nilsson軌道のエネルギー間隔や順序から原子核の変形殻構造を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 超重核の α - γ 核分光研究のためのSi-CdTe検出器アレイを製作する。

(2) Si-CdTe検出器アレイから得られる信号をコンピューターによるデータ取得するためのデータ収集系を構築する。

(3) 製作したSi-CdTe検出器アレイを用いて、 ^{241}Am 標準線源から放出されるアルファ線およびガンマ線の同時計測を行い、性能評価を行う。また、加速器運展時における実験室の放射線バックグラウンド状況を評価する。

(4) 研究対象核種を ^{238}U (^{22}Ne , 5n) ^{255}No , ^{248}Cm (^{18}O , 5n) ^{261}Rf , ^{248}Cm (^{22}Ne , 5n) ^{265}Sg , ^{248}Cm (^{23}Na , 5n) ^{266}Bh , ^{208}Pb (^{58}Fe , n) ^{265}Hs , ^{207}Pb (^{58}Fe , n) ^{264}Hs , ^{206}Pb (^{58}Fe , n) ^{263}Hs , ^{208}Pb (^{56}Fe , n) ^{265}Hs 反応を用いて合成する。

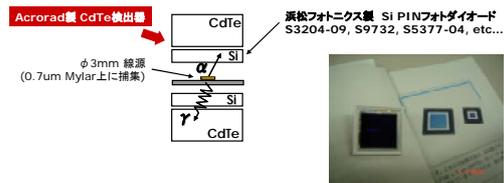
(5) 気体充填型反跳分離装置GARISの焦点面に設置するための大面積Si-CdTe検出器アレイを製作する。

4. 研究成果

(1) Si-CdTe検出器アレイの製作

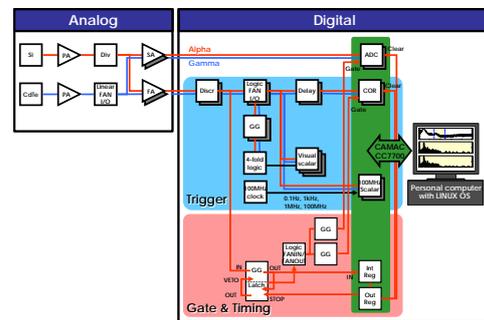
超重核の α - γ 核分光研究のためのSi-CdTe検出器アレイを製作した。 $1 \times 1 \text{cm}^2$ (厚さ1mm)のCdTe検出器と $2 \times 2 \text{cm}^2$ (厚さ0.3mm)のSiフ

ォトダイオードを用いて検出器アレイを組んだ。



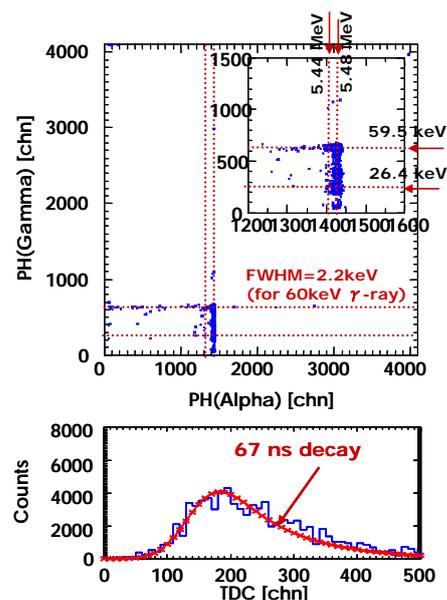
(2) α - γ 線同時計測回路の構築

α - γ 線同時計測用に、Si検出器32chおよびCdTe検出器32ch分の同時計測が可能な信号処理回路システムを新規に構築した。この回路の構築によりエネルギー分光測定・壊変時間特性・検出器のヒットパターン等のデータ取得が可能になった。



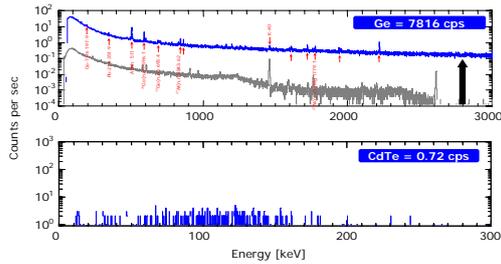
(3) Si-CdTe検出器アレイの性能評価/Si-CdTe検出器アレイの実験室内でのバックグラウンド測定

^{241}Am 標準線源を用いて製作したSi-CdTe検出器アレイの性能評価を行った。SiおよびCdTe検出器のエネルギー分解能・検出効率曲線・ α - γ 線放出間の時間測定を行った。CdTe検出器のエネルギー分解能は常温で59keV γ 線



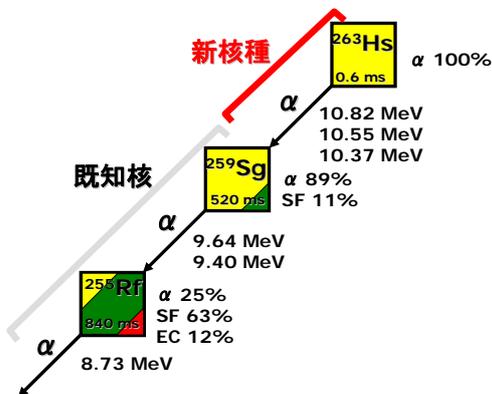
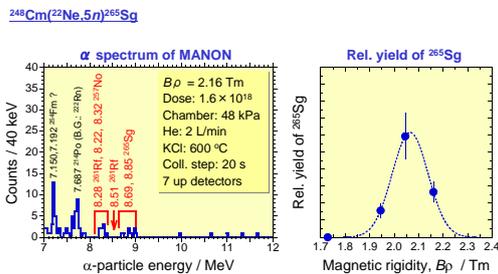
に対して 2.2keVであった。また、 ^{241}Am の 5.48MeV α 線と 59keVの γ 線の時間差 67n秒も確認した。

α - γ 核分光研究において、ビーム照射時のバックグラウンド計数率の高さが重要となる。そこで、加速器運転時におけるバックグラウンド測定をおこなった。CdTe 検出器の計数率は、0.72cps と Ge 検出器の 7816cps と比較して非常に低い値を示す事を観測できた。CdTe 検出器の極低バックグラウンド環境であれば、S/N 比の良い精度のある α - γ 核分光研究が可能である事がわかった。

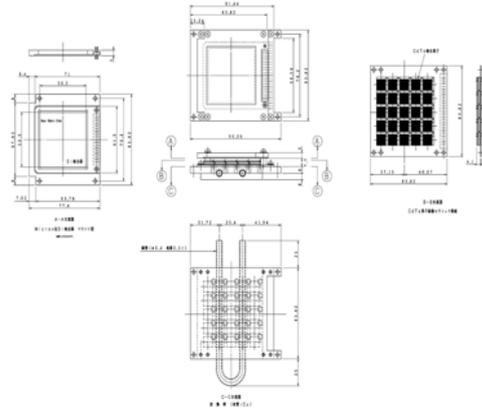


(4) 研究対象となる超重核の合成

$^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{255}\text{No}$, $^{248}\text{Cm}(^{18}\text{O}, 5n)^{261}\text{Rf}$,
 $^{248}\text{Cm}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{265}\text{Sg}$, $^{248}\text{Cm}(^{23}\text{Na}, 5n)^{266}\text{Bh}$,
 $^{208}\text{Pb}(^{58}\text{Fe}, n)^{265}\text{Hs}$, $^{207}\text{Pb}(^{58}\text{Fe}, n)^{264}\text{Hs}$,
 $^{206}\text{Pb}(^{58}\text{Fe}, n)^{263}\text{Hs}$, $^{208}\text{Pb}(^{56}\text{Fe}, n)^{265}\text{Hs}$ 反応を用いて超重核を合成し、気体充填型反跳分離装置GARISにより確認を行った。最適な合成条件や生成量を確認する事ができた。



(5) 大型 Si-CdTe 検出器アレイの開発
 気体充填型反跳分離装置GARISの焦点面に設置するための大面積Si-CdTe検出器アレイを製作した。Si検出器にはマイクロン社製DSSDを新規に採用し、CdTe検出器(1x1cm²)を25個配置した。



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6件)

[1] D. Kaji et al. (9名中1番目), Target for the heaviest element production at RIKEN, Nucl. Instr. And Meth., 査読有り, A590, 2008, 198

[2] D. Kaji et al. (15名中1番目), Production and Decay Properties of ^{263}Hs , J. Phys. Soc. Jpn., 78, 2008, 035003, 査読有り

[3] H. Haba, D. Kaji et al. (15名中3番目), Performance of the Gas-jet Transport System Coupled to the RIKEN Gas-filled Recoil Ion Separator GARIS for $^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{255}\text{No}$ Reaction, J. Phys. Soc. Jpn., 9, 2008, 27, 査読有り

[4] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji et al. (20名中3番目), Observation of Second decay chain from $^{278}113$, J. Phys. Soc. Jpn., 76, 2007, 045001-1, 査読有り

[5] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji et al. (18名中3番目), Experiment on the Synthesis of an Isotope $^{277}112$ by $^{208}\text{Pb}(^{70}\text{Zn}, n)^{277}112$, J. Phys. Soc. Jpn., 76, 2007, 043201-1, 査読有り

[6] H. Haba, D. Kaji et al. (15名中3番目), Startup of superheavy element chemistry at RIKEN, Eur. Phys. J., D45, 2007, 81, 査読有り

〔学会発表〕（計 2 件）

[1] D. Kaji, GARIS-II 開発の現状, 理研超
重元素化学ワークショップ 2008, 2008 年 11
月 12 日, 理化学研究所

[2] D. Kaji, PERFORMANCE OF A GAS-FILLED
RECOIL SEPARATOR GARIS FOR HOT FUSION
STUDY, TAN' 07, 2007 年 9 月 25 日,
DAVOS@SWISS

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加治大哉 (KAJI DAIYA)

独立行政法人理化学研究所・森田超重元素
研究室・協力研究員

研究者番号 : 00391912