

平成23年 5月 31日現在

機関番号： 82401
 研究種目： 基盤研究(C)
 研究期間： 2008～2010
 課題番号： 20540306
 研究課題名(和文)
 極短寿命な超重元素探索のための信号処理装置の開発
 研究課題名(英文)
 Development of data acquisition system for short-time decay by using Flash ADC
 研究代表者
 森本 幸司(MORIMOTO KOUJI)
 独立行政法人理化学研究所・超重元素分析装置チーム・チームリーダー
 研究者番号： 00332247

研究成果の概要(和文)：

本研究では、理化学研究所仁科加速器センターで行われている超重元素探索実験にて現在稼働している信号処理装置を拡張し、これまで不可能であった10 μ 秒以下の崩壊現象の測定を可能とさせた。具体的には、稼働中の信号処理装置にFlash-ADCを用いたプリアンプ波形を直接取得する装置を増設し、データ取得プログラムおよび解析プログラムの開発を行った。システム完成後、加速器を用いた新同位体探索実験にて使用し性能を実証した。

研究成果の概要(英文)：

A data acquisition (DAQ) system has been upgraded for super heavy element research at RIKEN Nishina Center. In order to measure the very short lifes (0.1-10 μ s) of α decays and spontaneous fission, an additional signal digitizer has been installed in the original system.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,300,000 | 690,000 | 2,990,000 |
| 2009年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2010年度 | 400,000 | 120,000 | 520,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：原子核実験、超重元素、計測装置、 α 崩壊、短寿命核

1. 研究開始当初の背景

現在までに申請者の研究グループでは、理研の直線加速器とGARIS(ガス充填型反跳核分離装置)を用い原子番号108番以上の領域の超重元素の生成・確認を行って来た。これ

まで日本は新元素探索という分野において寄与する事が出来ずにいたが、113番元素の生成・確認に成功

し、この分野で世界を一步リードする形となり、当該研究機関に大きなインパクトを与えた。現在、

110 番元素以上の超重核の合成を行える加速器・分離装置を有するのは日本では理研だけであり、その性能は、ビームの強度・検出効率・分離能力ともに現在世界最高を誇っている。まず、本研究の対象である核図表で最も重い領域を図1に示す。

核図表上での研究対象領域

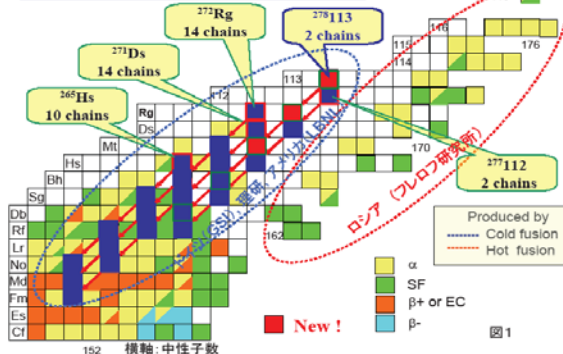


図1：横軸は中性子番号、縦軸は原子番号。青色および赤色で塗られている原子核は申請者らにより生成された原子核である。特に赤色の核は、新たに観測された原子核である。

この領域は新元素発見を目的とする国際的な競争が行われている領域であり、おおまかに青色の点線の領域と、赤色の点線の2つの領域に分ける事が出来る。青点線の領域は、Pb及びBiを標的核に用いた、Cold fusion法により主に生成・確認が試みられている。この領域では主にドイツ、アメリカ、日本の研究グループが競合状態にあるが、近年申請者の属している理研のグループにより113番元素の生成・確認に成功し、世界を一步リードしている。生成確認には、生成した核が連続してα崩壊するためα-α コリレーション法が用いられる。この青色点線領域では生成した原子核が連続的にα崩壊する事により既知の原子核にまで崩壊が繋がり、実験的に制度良く最初に生成された原子核を同定する事ができる。現在の処、新元素と認められ元素の命名権を獲得する為には、既知の原子核に崩壊連鎖が到達する事が必須となっている。申請者らのグループでは、生成した原子核が既知の原子核にたどり着く生成反応を選択し研究を進めている。

もう1つの領域、赤点線の領域はアクチノイドを標的核に用い、⁴⁸Caをビームとして使用する Hot fusion法により生成・確認が試みられている領域である。この領域は、主にロシアのフレロフ研究所により研究がなされている。現在、118番元素まで生成されたという報告がなされているが、この領域ではα崩壊連鎖は既知の核にまで到達せず、連鎖途中で自発核分裂してしまうため実験的に生成された原子核が同定された事になるのかは議論と

なっている（命名権は認められていない）。

申請者らは、現在のところ113番元素の生成に成功しているが今後さらに原子番号の大きな原子核の生成を試みる予定である。具体的には、²⁰⁸Pb(⁷⁶Ge, n)²⁸³114反応による、114番元素の生成を計画しているが、生成される原子核は理論による寿命予測では、現システムで測定出来る10μ秒より短い崩壊時間である可能性がある。そこで、現システムに研究計画・方法の項で述べる信号処理装置の改良を行う事により、数十ナノ秒から5μ秒程度の崩壊時間まで測定する事を可能とし、114番元素などの新元素の探索のみならず、いまだ観測されていない新同位体の観測を行う計画である。

世界的研究背景として、原子番号110番以上の領域において、10μ秒以下の崩壊時間の崩壊を、崩壊時間・エネルギーともに測定に成功している例は無く、いち早く本申請課題を遂行しさらなる新元素の探索のみならず、極短寿命の未だ観測されていない超重核を網羅的に探索していきたい。

2. 研究の目的

本申請課題は、現在稼働中の理研超重核実験システムに改良を行い、極短寿命（崩壊時間5μ秒以下）の超重元素、特に新元素の探索を行う事を目的とする。

3. 研究の方法

本申請課題は、現在理研の超重元素探索実験にて稼働している信号処理装置を拡張する事より遂行される。現在行われている超重元素探索は、理研の直線加速器、ガス充填型反跳核分離装置（GARIS）をよび図2に図示した飛行時間検出器（ToF）とシリコン検出器（PSD）の組み合わせで行っている。目的とする原子核は、GARISにより分離され ToF 検出器を通り PSD(Position Sensitive Detector)と呼ばれる検出器に埋め込まれる。そして、埋め込まれた検出器内でα崩壊、自発核分裂等の崩壊を起こすのだが、崩壊してもその場所はほとんど動かないため同一場所で連続的に信号が観測されれば、同一の親核からの崩壊現象だと判断する事が出来る。この現システムで、検出器内での崩壊場所、10μ秒以上の崩壊現象の崩壊時間・崩壊エネルギーを測定する事が出来る。このシステムに下記の図の信号処理ブロック図中赤色着色部分を拡張する事により、数十ナノ秒から5μ秒という極短寿命の崩壊においても、崩壊時間・崩壊エネルギーを測定する事を可能とさせる。

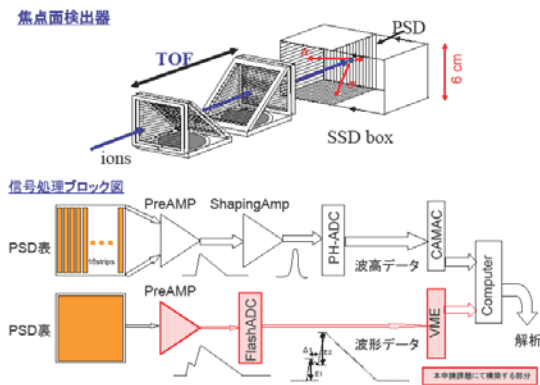


図2 信号処理装置ブロック図

現システムでは、PSDからの信号を電荷積分型前置増幅器で増幅しさらには波形整形型増幅器で増幅し、波高測定型のADC (PH-ADC)にて波高をエネルギー情報として取得している。このシステムでは、精度の良いエネルギー分解能を得るために 5μ 秒程度の波形整形時定数を必要としているため、この時定数程度より短い時間の崩壊現象では、波形整形増幅器後のパルスが重なってしまい(パイルアップする)PH-ADCでは、分離して計測する事が不可能である。この弱点を克服するために、PSD検出器裏面の電極を新たに電荷積分型前置増幅器に接続し、その出力をFlashADCにてデジタル波形データとして計算機に取り込み、波形解析をする事により短寿命で崩壊した崩壊時間・崩壊エネルギーを得る。信号処理ブロック図の下部に、短寿命で崩壊した際の電荷積分型前置増幅器の出力波形を示しているが、FlashADCを通して得られた波形データにおいて、E1、 Δt 、E2が、それぞれ1回目の崩壊時のエネルギー、2回目の崩壊の崩壊時間、2回目の崩壊の崩壊エネルギーとなる。現在実験に使用しているPSDは、表面に抵抗分割形16ストリップの電極、裏側は単一の電極の構成となっている。表面は各ストリップ両端が、プリアンプ、シェイピングアンプを通り波高検出型のADCによりデジタル変換しデータ収集されている。裏側は基準電位に定義するためにグラウンドに落とされている。本申請課題では、表側の波高データと同時に、この裏側電極にプリアンプとFlashADCを増設し波形データを新たに収集するシステムを構築する。 5μ 秒以下の崩壊現象を観測した場合波高データ側は位置の情報は得られるが、崩壊時間・エネルギーの情報は得られないが、波形データを合わせて解析する事により、 5μ 秒以下の崩壊現象が起こった場合でも、崩壊時間・エネルギーを得る事が出来るようになる。現信号処理はCAMAC規格の回路を通してコンピュータにデータ収集されているが、波形データはデータ量が多くCAMACによるデータ収集では、収集時間の

増加による計測デッドタイムが生じてしまうため、FlashADCはVME規格でデータ収集する。同一イベントに対して、CAMAC・VMEからデータを並行して収集し、同一イベントのデータとしてフォーマットしデータベースを作成する。以上まとめると、19年度は、プリアンプ、FlashADC、VMEインターフェースのインストール、ならびにデータ収集ソフトウェア、データ解析ソフトウェアの製作を行う。

平成20年度は、19年度中に構築されたシステムを用い、テスト実験によりシステムの総チェックを行い、新元素探索の本実験を開始する。

また、構築されたシステムの性能に関してテスト実験の結果をふまえて、論文発表、国際会議にて発表を行う。

テスト実験

反応に、 $^{197}\text{Au}(^{40}\text{Ar}, 3n)^{234}\text{Bk}$ を計画している。この反応で生成される ^{234}Bk からの崩壊チェーン中に、 5μ 秒以下の極短寿命な崩壊が有り、反応断面積も3日程度の実験で10イベント以上を見込める等テストに都合が良い。

さらに、システムのチェックのみならず ^{234}Bk 、 ^{230}Am は新同位体であり(以前現システムの調整・チェックを兼ねてこの反応の実験を行い数イベント観測したが、システムの調整中でもあり論文にするデータとしては不十分な物しか得られていない。)この新同位体の寿命・崩壊エネルギー、崩壊の分岐比を求める事にも意義がある。

以上の研究方法および計画に計画に基づいて、本研究を遂行した。

4. 研究成果

当研究計画に従い、20年度にはFlash-ADC、Clock-Generator、VMEクレート電源、PCI-VMEインターフェースを購入し、現信号処理装置に増設を行った。具体的には、まず焦点面検出器に使用しているシリコンストリップ検出器の裏面信号取得用にプリアンプ(別予算にて調達)を追加した。そのプリアンプ信号を本研究予算で購入したFlash-ADCに接続し、まずは単体で波形を取得出来るよう計測プログラムの開発を行った。プリアンプに試験信号を入力して調整をおこなった。

21年度には、前年度開発した装置を現信号処理装置と整合を取り、目的としている検出システムを完成させた。完成したシステムの性能試験も兼ねた、 $^{197}\text{Au}(^{40}\text{Ar}, 3n)^{234}\text{Bk}$ 反応を利用した新同位体探索実験を仁科センターの加速器を用いて行った。この実験にて、新同位体 ^{234}Bk 、 ^{230}Am 観測する事に成功すると共に本システムの有効性を確認した。

22年度は本装置にて、前年度の実験にて取得した信号波形から極短寿命で崩壊した原子核の寿命および崩壊時のエネルギー(α 線、核分裂)を詳細に求める解析プログラムを開発し、装置が目的としていた性能を満たしている事を確認した。図3に、得られた信号波形の例を示す。

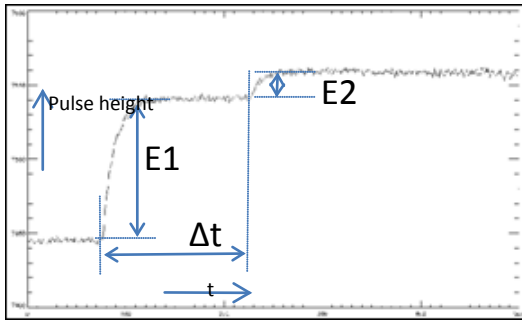


図3 $^{197}\text{Au}(^{40}\text{Ar}, 3n)^{234}\text{Bk}$ 実験にて得られた ^{218}Ra と ^{214}Rn の連続して起こる崩壊をとらえた、プリアンプからの信号波形の例。

本研究課題により開発を行ったシステムは 10μ 秒以下の崩壊現象の測定に有効である事を確認する事が出来たため、国内学会にて成果を発表した。新同位体の観測に関しても、共同研究者により国内学会にて成果が発表された。また、これらの成果について投稿論文を準備中である。

今後はさらに、調整・改良を加え、 $^{208}\text{Pb}(^{76}\text{Ge}, n)^{283}114$ 反応を用いた新元素の探索実験に備える予定である。本装置は新元素の探索のみならず寿命の短い ($0.1\text{--}5\mu$ 秒) 新同位体探索にも有効であるので、観測の可能性のある新同位体があれば実験を計画したいと考えている。

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 1 件)

①Development of data acquisition system for short-time decay by using Flash ADC
RIKEN Accel. Prog. Rep. 43
K. Morimoto, D. Kaji, H. Baba and F. Tokanai
査読有

[学会発表] (計 1 件)

①極短寿命な超重元素探索実験のための信号処理装置開発
日本放射化学年会 2010 年 9 月 28 日
大阪大学吹田キャンパス
森本幸司、加治大哉、馬場秀忠、門叶冬樹

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森本 幸司 (MORIMOTO KOUJI)

独立行政法人理化学研究所・超重元素分析装置チーム・チームリーダー

00332247

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者