

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03600

研究課題名（和文）準非破壊型飛行時間検出器による超重元素探索の高効率化

研究課題名（英文）Quasi-nondestructive time-of-flight detector for efficient superheavy element search

研究代表者

長江 大輔（Nagae, Daisuke）

東京工業大学・科学技術創成研究院・特任准教授

研究者番号：60455285

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、薄膜とマイクロチャンネルプレートを用いて、低エネルギー重粒子だけでなく、低エネルギー軽粒子に対しても高時間分解能、高検出効率を得られる準非破壊型飛行時間検出器を開発し、超重元素探索実験の高効率化を目指すものである。九州大学タンデム加速器施設で行った試作機の性能評価試験で得られた時間分解能は十分ではなかったものの、検出効率は満足できるものであった。また、両者にはビームの入射位置による依存性が観測された。時間分解能の向上ならびに各位置依存性を改善するためにシミュレーションを進めた。シミュレーションの結果をもとに、新たな検出器を完成させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たに開発した準非破壊型飛行時間検出器では、低エネルギーの軽粒子でも高効率・高分解能で飛行時間を測定できる見込みである。これを用いれば超重元素探索実験において、これまで難しかった超重元素生成時の核融合反応の際に放出された軽粒子と生成された超重元素の崩壊に伴う軽粒子との識別が可能となる。その結果、高効率な超重元素探索が実現し、119番以降の元素の発見に大きな寄与が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a quasi-nondestructive time-of-flight detector using thin films and microchannel plates that can achieve high time resolution and high detection efficiency not only for low-energy heavy particles but also for low-energy light particles. Using this detector, high efficiency of superheavy element search will be achieved.

Performance evaluation tests of the prototype were conducted at the Kyushu University Tandem Accelerator Facility. The obtained time resolution was not sufficient, the detection efficiency was acceptable. In both cases, dependences on the beam injection position were observed. Simulations were performed to improve the time resolution as well as the positional dependence. Based on the simulation results, a new detector was completed.

研究分野：原子核実験

キーワード：飛行時間検出器

### 1. 研究開始当初の背景

元素は何種類あるのだろうか？これは現代物理学の重要課題の一つである。これを解明する為にロシア、ドイツ、日本において超重元素(その原子核である超重核)の探索が行われている。日本では初めて命名権を獲得した113番元素「ニホニウム」に続き、119番元素、120番元素の探索実験が遂行中である。この探索実験では加速器からの低エネルギービームを標的に照射し、目的となる超重核を核融合反応により生成する。生成された目的とする超重核や目的核とほぼ同程度の質量の粒子、中性子やヘリウムなどの軽い粒子はビームとして飛行し、最下流に設置した半導体検出器内で停止する。探索実験における目的とする超重核の生成確認は、質量数に比例する飛行時間の測定と半導体検出器内での超重核のアルファ崩壊の計測の両者を組み合わせて行っている。

飛行時間を得るには粒子を検出器に通過させることが必要となるが、通過時にエネルギー分布が大きくなるのが起こり得て、質量分解能が低くなっており、超重元素の同定が難しくなっている。また軽い粒子、特にアルファ線への感度も重要である。仮に飛行時間測定により目的の超重核と思われる原子核の生成が確認できた場合、飛行時間検出器の下流に設置した半導体検出器で、超重核のアルファ崩壊の計測を行うが、半導体検出器で観測したアルファ線が崩壊による物か、上記核融合反応の際に生成された物なのか区別しなくてはならない。その為、超重元素探索で用いる飛行時間検出器には超重核のような重い原子核への感度に加え、軽い原子核への感度も重要となる。既存の飛行時間検出器は重い粒子への検出効率は90%以上あるが、軽い粒子への検出効率が40%程度と低い。世界に先駆けて119番元素、120番元素を発見するためには、ビームへの影響が少なく、軽い粒子においても高時間分解能、高検出効率をもつ新しい飛行時間検出器の開発が急務となっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、重い粒子だけでなく低エネルギー軽粒子に対しても高時間分解能、高検出効率を実現する準非破壊型飛行時間検出器を開発することである。目標の時間分解能は50 ps、検出効率は90%以上である。この検出器の強みは、(i) 準非破壊的にビームを検出できること(ビームが通過する物質量が、通常、時間検出器として使用されている物の1/100以下と少ない為、検出器通過におけるビームへの影響が極めて少ない)、(ii) 薄い物質を用いながらも重い粒子だけでなく軽い粒子に対しても高い時間分解能と高い検出効率を実現できること、である。低エネルギー軽粒子にも高感度を持つ準非破壊飛行時間検出器を開発することで、高効率な超重元素探索が実現し、119番元素、120番元素の発見が期待される。

### 3. 研究の方法

本研究で開発する準非破壊型飛行時間検出器は主に薄膜、加速グリッド、ミラーグリッド、マイクロチャンネルプレートで構成される(図1)。ビームが薄膜を通過した際に放出される電子を電場で制御し、マイクロチャンネルプレートまで導き信号を得る。超重元素探索での運用で重要となるのは低エネルギー軽粒子での高時間分解能、高検出効率を実現することである。

高時間分解能・高検出効率の達成には、大きな加速電位を用いることが本質的に重要となることから、過去に開発された低エネルギービーム用準非破壊飛行時間検出器と異なり、これまでにない大きな加速電位で検出器を動作させる。低エネルギー軽粒子での高検出効率の達成のために、多くの電子を放出する薄膜材質の探索も行う。

まず小型の試作機を設計・製作し、時間分解能・検出効率の加速電位依存性評価する。加速電位決定後、薄膜を変えながら時間分解能・検出効率の測定を行い、最適な薄膜素材の探索を行う。小型試作機のデータを基に超重元素探索用の大型の実機を設計製作し、アルファ線や加速器からのビームを用いて性能評価を行う。

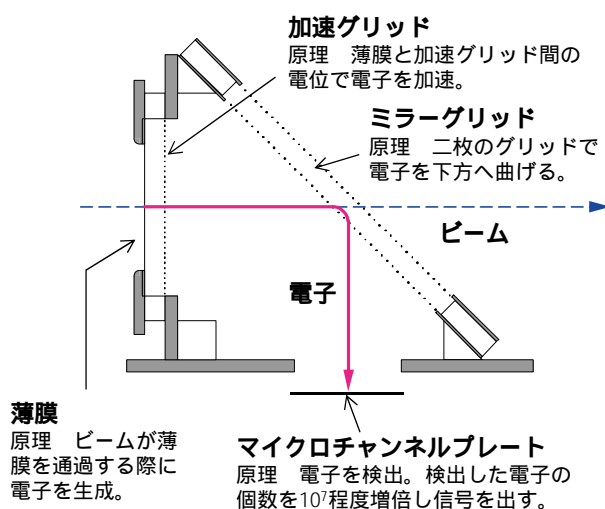


図1 準非破壊型飛行時間検出器概念図と動作原理

#### 4. 研究成果

計画段階においては、初年度は小型試作機を用いた基礎データ収集であったが、大型実機で使用を予定していたマイクロチャンネルプレート(直径 80 mm)を借用することができた為、大型実機的设计・製作を行った。薄膜にはマイラー $0.5\ \mu\text{m}$ の片面に 200 オングストロームの金を蒸着し、二次電子の放出量増大を図った。九州大学タンデム加速器施設において、 $^{28}\text{Si}$  ビームを利用して時間分解能と検出効率の加速電場依存性を測定した(図 2)。加速電圧に対する時間分解能の傾向はシミュレーションなどによる予想とほぼ同じだが、得られている時間分解能が 250 ps 程度と目標値に届かなかった。一方検出効率の加速電圧依存性はほぼシミュレーション通りとなり、得られた検出効率も 97%と良い結果となった。

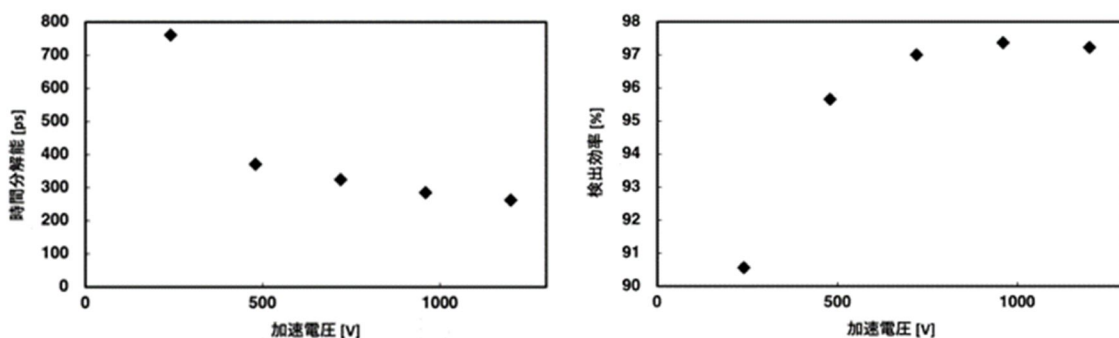


図 2 (左) 時間分解能の加速電圧依存性。(右) 検出効率の加速電圧依存性

次に時間分解能、検出効率のビームの入射位置依存性を測定した(図 3)。これらの値にはビームの入射位置による依存性が観測され、薄膜周辺では性能が低下することが分かった。今後の課題として、この位置依存性が薄膜の周辺にビームを入射したことに起因するものか、マイクロチャンネルプレートの周辺に電子が入射したことに起因するものか、分別が必要と考えている。

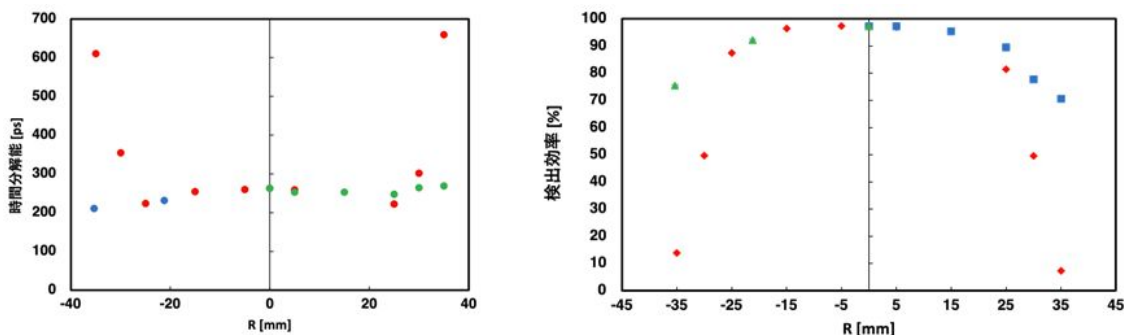


図 3 (左) 時間分解能のビーム入射位置依存性。(右) 検出効率のビーム入射位置依存性。

色の違いはマイクロチャンネルプレートの横方向(赤)、縦方向(青)、斜め方向(緑)を表す。

上記性能評価試験にて得られた時間分解能が、目標値に届いていなかったこと、時間分解能・検出効率にビームの入射位置による依存性が観測されたことから、現時点での性能では研究計画に記載した薄膜材質依存性の評価が難しいと判断し、時間分解能の向上ならびに位置依存性を改善するためにシミュレーションを進めた。シミュレーションでは時間分解能の加速電場依存性を調査するとともに、同時に二次電子飛行時間の放出位置依存性も調査した。調査の結果から、九州大学タンデム加速器施設での性能評価試験では、加速電場の不十分、加速電場の均一性の不十分が示唆され、大きな加速電場と加速電場の均一性を向上するような飛行時間検出器の構造改良が目標値到達には必要と分かった。このシミュレーションの結果をもとに、新たな検出器の設計製作を進め、検出器を完成させた。今後、性能評価を行い、実用化を目指した開発を行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------