

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：82401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07446

研究課題名(和文) 稀少RIリングによる質量精密測定のための位置感応型ショットキーピックアップの開発

研究課題名(英文) Position sensitive Schottky pick-up for precise mass measurements in Rare-RI Ring

研究代表者

洲崎 ふみ (Suzaki, Fumi)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・特別研究員

研究者番号：70779727

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は理化学研究所の稀少RIリングにおける質量精密測定を実現するための位置感応型ショットキーピックアップの開発である。測定した質量はRプロセスの経路決定に寄与する。質量の決定精度はリング内の等時性の出来具合に依存しており、現状の等時性の達成度では不十分であった。本研究ではワークステーション等の環境を整備し、等時性の微調整に使う新型ショットキーピックアップの開発を進めていたが、ビーム試験を行うには至らなかった。しかし、既存のショットキーピックアップを用いた等時性の調整手法により、リング内の等時性の達成度をこれまでの10倍向上させることに成功した。これは質量精密測定の実現につながる成果である。

研究成果の概要(英文)：This study is the development of a position sensitive Schottky pick-up for precise mass measurements in the Rare-RI Ring of RIKEN. The measured mass contributes to the determination of the R-process path. The precision of masses depends on the degree of isochronism in the ring, and the current isochronism was insufficient. In this study, we were working on the development of a new type Schottky pick-up by outfitting the workstation and other environments, but we were not able to conduct a test using the beam. However, we succeeded in improving the isochronism by ten times compared with the conventional one by the isochronous adjustment method using the existing Schottky pick-up. This result leads to the realization of precise mass measurements.

研究分野：原子核実験

キーワード：イオン蓄積リング ショットキーピックアップ

1. 研究開始当初の背景

宇宙の元素合成において鉄より重い元素はどのようにできたのか。これは未だ解明されていないミステリーである。この答えの候補に超新星爆発や二中性子星合体などの爆発的な現象を起源とした R プロセスがある。R プロセスの経路決定のためには、経路上の核の質量の精密測定が必要であるが、R プロセスの経路は中性子が過剰な領域を進むため、経路上の核は短寿命(10ms 以下)、低生成率(1 個/1 日)の”稀少 RI”であり、実験は困難であった。しかし、理化学研究所 RI ビームファクトリー(RIBF)により、これら経路上の核が利用可能になった。RIBF に新設された稀少 RI リングは稀少 RI の質量測定に特化された蓄積リングで、目標の質量決定精度は 10^{-6} である。稀少 RI リングでは等時性質量測定法を用いて質量を測定する。この方法ではリング内の等時性(運動量によらず粒子が同じ周期で周回する性質)が 10^{-6} で達成される必要があるが、研究開始当初の等時性の達成度は 4×10^{-5} であり、目標に達していなかった。

2. 研究の目的

ショットキーピックアップは、単一粒子の誘起する微小な信号を非破壊的に検出することが特徴の検出器であり、リング内には共鳴空洞型のショットキーピックアップが設置されている。本研究では、既存のショットキーピックアップから得られる周回周期に加えて位置情報を獲得する位置感応型ショットキーピックアップの開発を行う。これにより、稀少 RI リングの等時性の達成度を 10 倍向上させ、稀少 RI リングにおける質量測定の精度を目標の達成度に到達させることが目的である。

3. 研究の方法

図 1 左に示したのは、稀少 RI リングの模式図である。粒子の持つ運動量によらず同じ周期で周回するためには、図 1 右に示したような等時性磁場をつくる必要がある。等時性磁場はリング中の双極性電磁石及びそれに付随したトリムコイルによりつくる。

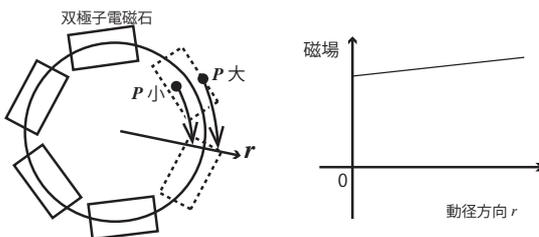


図 1. (左) 稀少 RI リングの模式図
(右) 稀少 RI リング内の等時性磁場

トリムコイルに流す電流を変えることで等時性の出来具合は変わる。リング内では粒子が持つ運動量の違いにより周回軌道が異なるため、等時性を微調整するためには各粒子がリングのどこを周回しているのかを知る位置情報が必要となる。

既存の共鳴空洞型ショットキーピックアップを用いた周回粒子の信号検出は以下の原理で行う。リングを周回する粒子によって共鳴空洞には空洞固有な共鳴周波数において電磁場が誘起する。誘起した信号による磁場の変化は空洞内に設置したカップラーによって時間信号として取り出すことができる。この時間信号をリアルタイムスペクトラムアナライザで高速フーリエ変換して周波数信号(ショットキースペクトル)を得る。このようにして周回粒子の周回周波数(周回周期の逆数)を獲得する。このとき空洞内部に生じる電磁場のモードは図 2 左に示したモノポールモードである。これに対して位置感応型は図 2 右に示したダイポールモードを用いる。ダイポールモードでは粒子の通過する位置により得られる信号の振幅が変化することを利用して位置を検出する。

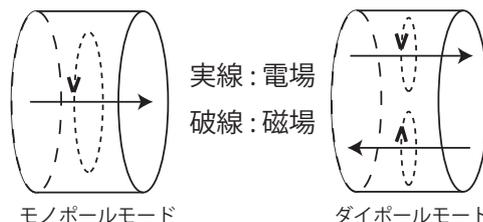


図 2. 空洞内の電磁場のモードによる違い

本研究ではダイポールモードを誘起するショットキーピックアップ及び誘起した信号を取り出すためのカップラーを設計し、オフラインテストを行い、ビームを用いたテストを行う予定であった。

4. 研究成果

本研究において、ワークステーションなどの環境を整備し、位置情報も得られるショットキーピックアップの開発を進めていたが、ビームを用いた試験を行うには至らなかった。一方で、以下で説明する既存のショットキーピックアップを用いた等時性調整の手法により、リング内の等時性をこれまでの 10 倍向上させることに成功した。我々は、2015 年の稀少 RI リングにおける実験において、既存のショットキーピックアップを用いて単一粒子の周回周波数の情報を非破壊的に獲得することに成功している。実験では 168 MeV/u の ^{78}Kr の一粒子を稀少 RI リングに入射し蓄積した。図 3 に示したのは、単一 Kr が誘起した信号である。横軸は周波数を表し、縦軸が時間を

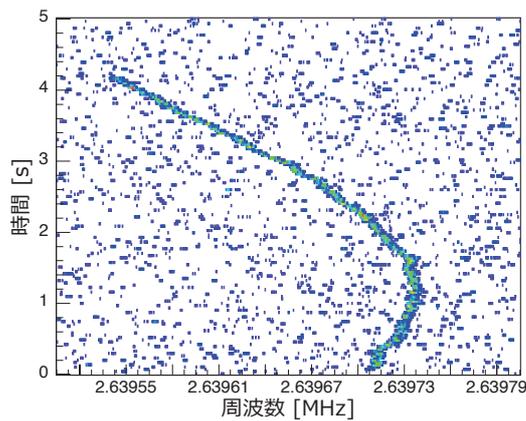


図3. 単一 Kr が誘起した信号

表す。この図から Kr の周回周波数が 4 秒間で徐々に変化している様子がわかる。実験時の真空度は 1×10^{-5} Pa と低く、Kr はリング内の残留ガスと相互作用し運動量が周回中に変化している。そこで、これを利用した等時性の調整手法を考案した。この手法において、等時性が成り立っていない場合は、相互作用による運動量の変化に従い周回周波数が変化していくが、等時性が成り立っている場合は、運動量の変化に依存せずに一定の周回周波数になる。

この手法を用いた等時性調整を 2017 年の稀少 RI リングにおける実験において実施した。実験では 166 MeV/u の ^{78}Ge を入射し、等時性調整を行った。図 4 上下に調整前と調整後の ^{78}Ge の周回周波数の時間変化を示した。調整により周回周波数が一定に近づいていることが見てとれる。オンラインの解析において等時性度が 10^{-5} のオーダーから 10^{-6} のオーダーに入ったことを確認した。上記のように既存のショットキーピックアップを用いた等時性の調整手法によりリング内の等時性をこれまでの 10 倍向上させることに成功した。これは質量

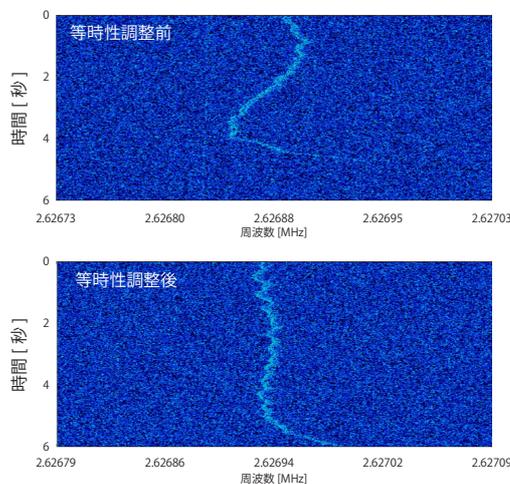


図4. 等時性調整前後のショットキースペクトル

精密測定の実現につながる成果である。

一方で、真空度が現状よりも 2~3 桁良い状況では運動量が周回中に変化しづらくなるため従来の手法で等時性を調整することはできない。その場合には、各周回粒子の位置情報が欠かせないため、本研究で整備した機器を活用し今後も位置感応型ショットキーピックアップの開発を継続していく。

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 2 件)

- ① F. Suzaki, Y. Abe, D. Nagae, A. Ozawa, T. Uesaka, M. Wakasugi, K. Yamada, T. Yamaguchi, Y. Yamaguchi, J. Zenihiro, "Momentum acceptance of the Rare RI Ring studied from revolution frequency measurements" RIKEN Accelerator Progress Report, 50, (2016) 184 査読無し
- ② F. Suzaki, Y. Abe, Z. Ge, K. Hiraishi, Y. Ichikawa, I. Kato, H. Miura, T. Moriguchi, D. Nagae, S. Naimi, T. Nishimura, S. Omika, A. Ozawa, S. Suzuki, T. Suzuki, N. Tadano, Y. Tajiri, Y. Takeuchi, T. Uesaka, M. Wakasugi, T. Watanabe, K. Yamada, T. Yamaguchi, Y. Yamaguchi, J. Zenihiro, and Y. Yano "Performance of a resonant Schottky pick-up in the commissioning of Rare RI Ring" RIKEN Accelerator Progress Report, 49, (2015) 179 査読無し

[学会発表] (計 2 件)

- ① 洲崎ふみ 「Schottky detector in Rare-RI Ring」宇宙史研究センター発足記念国際シンポジウム、2018年3月26日~27日、筑波大学(茨城県つくば市)
- ② F. Suzaki, Y. Abe, M. Wakasugi, T. Yamaguchi, Y. Yamaguchi "Observation of ^{78}Kr stored in Rare-RI Ring with a resonant Schottky pick-up" 10th International Conference on Nuclear Physics at Storage Rings (STORI' 17), (Kanazawa, Japan, 13 Nov. - 18 Nov., 2017)

[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〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

洲崎 ふみ（SUZAKI FUMI）

国立研究開発法人 理化学研究所・仁科加速器研究センター・

特別研究員

研究者番号：70779727